UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ARTES, CIÊNCIAS E HUMANIDADES
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TÊXTIL E MODA

FERNANDA GOMES DE VASCONCELOS

**Avaliação dos resultados obtidos no equipamento Moisture Management Tester (MMT)
comparativamente a outros métodos de medida de gerenciamento de umidade**

São Paulo

2016

FERNANDA GOMES DE VASCONCELOS

**Avaliação dos resultados obtidos no equipamento Moisture Management Tester (MMT)
comparativamente a outros métodos de medida de gerenciamento de umidade**

Versão corrigida

Dissertação apresentada à Escola de Artes,
Ciências e Humanidades da Universidade
de São Paulo para exame de qualificação,
a fim de obter o título de Mestre em
Ciências, Programa de Pós-Graduação em
Têxtil e Moda.

Área de concentração:

Materiais e Processos Têxteis

Orientador:

Profa. Dra. Regina Aparecida Sanches

São Paulo

2016

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

CATALOGAÇÃO-NA-PUBLICAÇÃO

(Universidade de São Paulo. Escola de Artes, Ciências e Humanidades. Biblioteca)

Vasconcelos, Fernanda Gomes de

Avaliação dos resultados obtidos no equipamento Moisture Management Tester (MMT) comparativamente a outros métodos de medida de gerenciamento de umidade / Fernanda Gomes de Vasconcelos ; orientadora, Regina Aparecida Sanches. – São Paulo, 2016

152 f. : il

Dissertação (Mestrado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo

Versão corrigida

1. Tecnologia têxtil. 2. Tecidos (Indústria têxtil). 3. Conforto térmico. 4. Moisture Management Tester (MMT). I. Sanches, Regina Aparecida, orient. II. Título.

CDD 22.ed. – 677

Nome: VASCONCELOS, Fernanda Gomes de

Título: Avaliação dos resultados obtidos no equipamento Moisture Management Tester (MMT) comparativamente a outros métodos de medida de gerenciamento de umidade

Dissertação apresentada à Escola de Artes, Ciências e Humanidades da Universidade de São Paulo para exame de qualificação, a fim de obter o título de Mestre em Ciências, Programa de Pós-Graduação em Têxtil e Moda.

Área de concentração:

Materiais e Processos Têxteis

Aprovado em: ____ / ____ / ____

Banca Examinadora

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____

Prof. Dr.	_____	Instituição:	_____
Julgamento:	_____	Assinatura:	_____

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho a minha mãe Ana Maria Izabel Gomes que sempre me incentivou a continuar estudando e me aprimorando, em especial ao meu pai e professor Fernando Barros de Vasconcelos que é meu espelho e exemplo na profissão, aos meus tios e tias, às minhas primas companheiras de todas as horas, ao meu namorado Augusto Tairum de Andrade pela paciência, incentivo e por estar comigo em todos os momentos e ao meu amigo e colega de profissão Renan Guazzelli Affonso que dividiu comigo todos os momentos desse desafio.

AGRADECIMENTOS

Ao Centro Universitário da FEI, em especial à professora Camilla Borelli pela disponibilização dos laboratórios de Malharia, Físico e Químico Têxtil.

Ao Artur Radzavicius pela ajuda na fabricação das amostras e pela total dedicação para o sucesso desse trabalho.

Ao Sergio Luiz Pereira e ao Denver Iannick pela disponibilidade e auxílio sempre que necessário.

Ao Professor Pedro Luiz Rodrigues da Silva pelo auxílio na lavagem das amostras.

À UNIFI pela doação dos fios de poliéster utilizados nesse trabalho.

Ao Augusto Tairum de Andrade pela ajuda na execução dos ensaios.

A Interface Engenharia Aduaneira pela disponibilização dos laboratórios para caracterização das amostras e em especial ao Engenheiro Guilherme Venancio de Oliveira pelo incentivo na conclusão deste curso.

Ao meu pai e Professor Fernando Barros de Vasconcelos pela ajuda na execução desse trabalho, e por sempre acreditar na minha capacidade neste e em tantos outros desafios da profissão.

À minha orientadora Professora Dra. Regina Aparecida Sanches pela orientação, apoio e disponibilidade durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

*“O sucesso normalmente contempla aqueles que
estão ocupados demais para procurar por ele.”*

Henry David Thoreau

RESUMO

VASCONCELOS, F. G. **Avaliação dos resultados obtidos no equipamento Moisture Management Tester (MMT) comparativamente a outros métodos de medida de gerenciamento de umidade.** 2016. 152 f. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) – Escola de Artes Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, 2016. Versão corrigida.

O conforto é um aspecto muito importante ao se tratar de vestuário, por isso cada vez mais estão sendo desenvolvidos tecidos com características específicas para proporcionar conforto nas mais diversas situações de uso. Dentro desse contexto, o conforto térmico fisiológico tem papel fundamental e um dos seus pontos chave é a capacidade dos têxteis de gerenciar a umidade proporcionada pelo processo de suor do corpo. O equipamento Moisture Management Tester (MMT) foi desenvolvido para possibilitar uma avaliação prática e confiável dessa propriedade dos tecidos e permite calcular um índice que reflete a capacidade global de gestão de umidade (OMMC) das amostras analisadas. O objetivo desse trabalho é realizar uma avaliação dos resultados obtidos no equipamento MMT em tecidos de malha fabricados com diversos tipos de fios e de contexturas e comparar os resultados com outros métodos de medida de gerenciamento de umidade, para verificar a eficácia do equipamento em quantificar a diferença de comportamento entre os tecidos analisados. Através da análise estatística concluiu-se que a metodologia utilizada no MMT possui uma divisão mais equilibrada da influência dos fatores para os resultados encontrados, sendo mais fiel ao que acontece com o tecido na prática, com resultados mais representativos, pois todos os fatores que interferem nos resultados são considerados de maneira equilibrada.

Palavras-chave: Moisture Management Tester (MMT), Conforto, Gerenciamento de Umidade.

ABSTRACT

VASCONCELOS, F. G. Evaluation of results obtained in Moisture Management Tester equipment (MMT) compared to other moisture management methods of measurement. 2016. 152 f. Dissertação (Mestrado em Têxtil e Moda) – Escola de Artes Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo, 2016. Versão corrigida.

Comfort is a very important aspect related to garments, that is why fabrics containing specific characteristics to provide comfort in all kinds of situations are being developed. Within this context, the physiological thermal comfort plays a crucial role and one of his key points is the ability of textile to manage moisture provided by the body sweat process. The Moisture Management Tester (MMT) methodology was developed to enable a practical and reliable evaluation of this property of fabrics and allows the calculation of an index that reflects the overall moisture management capacity (OMMC) of the samples. The objective of this was to provide an evaluation of the results obtained on MMT on different types of yarn and knits compared to other moisture management methods of measurement, and intending to verify the effectiveness of the equipment to quantify the difference in behavior among the analyzed fabrics. Through statistical analysis, it was concluded that the methodology used in MMT has a more balanced division of the factors influence in founded results, seen as more faithful to what happens to fabric in practice, with more representative results because all factors that interfere in the results are considered in a balanced way.

Keywords: Moisture Management Tester (MMT), Comfort, Moisture Management.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Propriedades das Poliamidas	53
Tabela 2: Diâmetro médio das fibras e microfibras	59
Tabela 3: Título dos filamentos.....	60
Tabela 4: Propriedades físicas dos fios de microfibra.....	61
Tabela 5: Fatores analisados	105
Tabela 6: Especificações de construção da meia malha.....	106
Tabela 7: Especificações de construção da malha dupla.....	107
Tabela 8: Processo de lavagem caseira	108
Tabela 9: Amostras	109
Tabela 10: Resultados de caracterização – Densidade linear.....	110
Tabela 11: Resultados de caracterização – Espessura.....	111
Tabela 12: Resultados de caracterização – Densidade.....	112
Tabela 13: Etapas no ensaio do MMT	113
Tabela 14: Resultados de OMMC para o Ensaio no MMT.....	117
Tabela 15: Resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas	121
Tabela 16: Resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das carreiras	122
Tabela 17: Resultados de Hidrofilidade por Absorção – Drop Test	126
Tabela 18: Resumo da Influência dos fatores	131
Tabela 19: Resumo da influência dos fatores em porcentagem (%)	131

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Do <i>activewear</i> ao <i>streetwear</i>	19
Figura 2: Relação entre temperatura e atividade física	20
Figura 3: Diferentes tipos de conforto.....	21
Figura 4: Consumo mundial de Fibras Têxteis (milhões de toneladas)	27
Figura 5: Representação da vista longitudinal da fibra de algodão.....	28
Figura 6: Corte longitudinal das fibras de lã	29
Figura 7: Estrutura molecular do Poliéster.....	35
Figura 8: Obtenção do Poliéster	37
Figura 9: Esterificação via DMT.....	38
Figura 10: Polimerização via DMT.....	38
Figura 11: Esterificação via PTA	39
Figura 12: Polimerização via PTA	39
Figura 13: Fluxo completo de obtenção do Poliéster	40
Figura 14: Corte longitudinal da fibra de poliéster	41
Figura 15: Corte transversal da fibra de poliéster	42
Figura 16: Estrutura Molecular do PES	42
Figura 17: Oligômeros	44
Figura 18: Oligômeros na superfície da fibra de PES	44
Figura 19: Estrutura molecular da Poliamida 6 e da Poliamida 6.6	45
Figura 20: Obtenção da Poliamida 6.6.....	47
Figura 21: Obtenção da Poliamida 6	47
Figura 22: Formação do Adipato de hexametileno diamina (sal nylon)	48
Figura 23: Transformação do sal nylon em fibras de poliamida 6.6.....	48
Figura 24: Condensação da caprolactama para obtenção da poliamida 6	49
Figura 25: Fiação por fusão da Poliamida.....	50
Figura 26: Microscopia da Poliamida	51
Figura 27: Ligações Intramoleculares da Poliamida	52
Figura 28: filamentos: fio standard	55
Figura 29: filamentos microfibras.....	55
Figura 30: Fio liso	56
Figura 31: Fio texturizado	57
Figura 32: Fio Texturizado a ar.....	58
Figura 33: Esquema simplificado do processo de fabricação dos fios texturizados a ar.....	58
Figura 34: Finura das Fibras.....	60
Figura 35: Malha de urdume e malha de trama.....	63
Figura 36: Esquema de formação da malha por urdume	63
Figura 37: Esquema de formação da malha de Trama	64
Figura 38: Subdivisões da malharia	64
Figura 39: Malha Unitária	66
Figura 40: Possibilidades de tricotagem.....	67
Figura 41: Máquina de Malharia de trama Circular	68
Figura 42: Sistema de formação de malha da máquina dupla frontura	69
Figura 43: Disposição Interlock	70

Figura 44: Distribuição das agulhas para disposição frente a frente	70
Figura 45: Design do vestuário esportivo	71
Figura 46: Porcentagem de regain das principais fibras têxteis.	74
Figura 47: Porcentagem de retenção de líquido das principais fibras têxteis.....	75
Figura 48: Condutividade térmica das fibras em comparação com o ar.	76
Figura 49: Tipos de fios	77
Figura 50: Comparação entre filamentos standard e microfibras em fios de mesmo título	77
Figura 51: Seções transversais das fibras e suas propriedades.....	78
Figura 52: Diferentes tipos de construção de tecido	79
Figura 53: Espessura dos tecidos	80
Figura 54: Número de camadas do tecido	80
Figura 55: Pontos de superaquecimento e maior transpiração do corpo humano	82
Figura 56: Representação esquemática da evaporação do suor na pele	83
Figura 57: Macroporos e Microporos.....	85
Figura 58: Fibra de CoolMax®, com quatro canais (esquerda) e com seis canais (direita).....	86
Figura 59: Minerais nas fibras de CoolMax®.....	86
Figura 60: Tecnologia ClimaCool®.....	87
Figura 61: Tecnologias FIT.....	89
Figura 62: Tecnologia Nike Dri-FIT®.....	89
Figura 63: Tecnologia Equarea®, da Decathlon.	90
Figura 64: Esquema de funcionamento do Moisture Management Tester.....	91
Figura 65: Modelo simplificado de método de teste	92
Figura 66: Gráfico de absorção x tempo	97
Figura 67: Representação do raio molhado do tecido à prova d'água	98
Figura 68: Representação do raio molhado do tecido repelente à água	99
Figura 69: Representação do raio molhado do tecido que absorve e seca rapidamente.....	100
Figura 70: Representação do raio molhado do tecido que absorve rápido e seca lentamente.....	101
Figura 71: Representação do raio molhado do tecido que absorve e seca rapidamente.....	102
Figura 72: Representação do raio molhado do tecido de penetração de água.....	103
Figura 73: do raio molhado do tecido com controle de umidade	104
Figura 74: Fatores e respostas	105
Figura 75: Representação do ligamento Meia-malha.....	107
Figura 76: Representação do ligamento Piquet Suíço.....	108
Figura 77: Equipamento Moisture Management Tester (MMT).....	113
Figura 78: Realização do Ensaio de Hidrofilidade por Capilaridade	114
Figura 79: Realização do Ensaio de Hidrofilidade por Absorção	115
Figura 80: Diagrama de Pareto para os resultados de OMMC.....	118
Figura 81: Efeitos dos fatores nos resultados de OMMC	119
Figura 82: Diagrama de Pareto para os resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas.....	123
Figura 83: Diagrama de Pareto para os resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das carreiras	123
Figura 84: Efeitos dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas	124

Figura 85: Efeito dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das carreiras	125
Figura 86: Diagrama de Pareto para os resultados de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)	127
Figura 87: Efeito dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)	128
Figura 88: Influência dos fatores expressos em porcentagem	131

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Classificação das Fibras Têxteis	26
Quadro 2: Planejamento fatorial MINITAB	116
Quadro 3: Influência dos fatores nos resultados do MMT (OMMC).....	129
Quadro 4: Influência dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas.....	130
Quadro 5: Influência dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas.....	130
Quadro 6: Influência dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)	130

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Objetivo	18
1.2. Justificativas	19
1.3. Pergunta	23
1.4. Hipótese	23
1.5. Metodologia	24
1.6. Organização do trabalho	24
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
2.1. Fibras	26
2.2. Fibras Naturais	27
2.2.1. Algodão	27
2.2.2. Lã	28
2.2.3. Seda	29
2.3. Fibras Químicas	30
2.3.1. Viscose	31
2.3.2. Acetato	32
2.3.3. Modal	32
2.3.4. Liocel	33
2.3.5. Polipropileno	33
2.3.6. Acrílico	34
2.3.7. Elastano	34
2.4. Poliéster	35
2.4.1. História do Poliéster	36
2.4.2. Processo de fabricação do Poliéster	37
2.4.3. Morfologia do Poliéster	41
2.4.4. Propriedades do Poliéster	42
2.4.5. Oligômeros	44
2.5. Poliamida	45
2.5.1. História da Poliamida	45
2.5.2. Processo de fabricação da Poliamida	46
2.5.3. Morfologia da Poliamida	51
2.5.4. Propriedades da Poliamida	52
2.6. Título do fio	54

2.7. Filamentos de um fio têxtil	54
2.7.1. Tipos de fios de filamentos contínuos	56
2.8. Microfibras	59
2.8.1. História das Microfibras	59
2.8.2. Fabricação das Microfibras	60
2.8.3. Propriedades das Microfibras	61
2.9. Malharia	62
2.9.1. História da Malharia	62
2.9.2. Tipos de Tecido de Malha	63
2.8.3. Malharia de Trama	65
2.8.4. Malha de Trama Circular	68
2.8.5. Máquina Dupla Frontura	69
2.8.6. Disposições das agulhas	69
2.9. Funcionalidade dos tecidos	71
2.10. Conforto	72
2.10.1. Principais propriedades dos têxteis ligadas ao conforto	74
2.11. Suor	82
2.12. Gestão da umidade	83
2.13. Tecnologias	85
2.13.1. CoolMax®	85
2.13.2. Adidas®	87
2.13.3. Nike	88
2.13.4. Decathlon	90
2.14. Moisture Management Tester (MMT)	91
2.14.1. Preparação dos corpos de prova	96
2.14.2. Apresentação dos resultados	97
2.14.3. Análise dos resultados	97
3. MATERIAIS E MÉTODOS	105
3.1.1. Fios utilizados	106
3.1.2. Equipamentos utilizados	106
3.1.3. Lavagens	Erro! Indicador não definido.
3.2. Amostras obtidas	109
3.3. Caracterização	109
3.3.1. Densidade linear	110

3.3.2.	Espessura.....	111
3.3.3.	Densidade.....	112
3.4.	Ensaio	113
3.4.1.	MMT (Moisture Management Tester)	113
3.4.2.	Hidrofilidade por Capilaridade.....	114
3.4.3.	Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)	115
3.5.	Análise dos dados	115
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	116
4.1.	Resultados MMT	116
4.2.	Resultados Hidrofilidade por Capilaridade	120
4.3.	Resultados Hidrofilidade por Absorção – Drop Test	126
5.	CONCLUSÃO	133
	REFERÊNCIAS	134
	APÊNDICE A - Resultados individuais de caracterização – Densidade Linear	141
	APÊNDICE B – Resultados individuais de caracterização – Espessura	143
	APÊNDICE C – Resultados individuais de caracterização – Densidade	145
	APÊNDICE D – Resultados individuais de Ensaio – MMT (OMMC)	147
	APÊNDICE E – Resultados individuais de Ensaio – Hidrofilidade por Capilaridade	149
	APÊNDICE E – Resultados individuais de Ensaio – Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)	151

1. INTRODUÇÃO

O segmento esportivo tem grande representatividade na economia mundial, tanto ao nível do lazer como ao nível profissional. Quando se remete as informações para o campo do lazer, percebe-se que as pessoas procuram cada vez mais praticar uma atividade física como estratégia de bem-estar, para obter melhor qualidade de vida (FILGUEIRAS; FANGUEIRO; RAPHAELLI, 2008).

As empresas que desenvolvem produtos, materiais e artigos em geral para o meio esportivo, empenham-se em oferecer produtos funcionais e inovadores em todas as categorias de esporte. A junção entre a ciência e a tecnologia proporciona o lançamento de artigos com propriedades superiores às dos produtos já existentes no mercado (BRAMEL, 2005).

A preocupação com a prática esportiva vem crescendo constantemente. Nesse contexto a indústria têxtil tem buscado se encaixar de forma moderna e prática, desenvolvendo trajes adequados para cada prática esportiva, com tecnologias específicas para gerenciar a umidade e manter o corpo seco durante o exercício físico, propiciando aos consumidores um maior conforto (SHISHOO, 2005).

Estudos de mercado demonstram que o consumidor atual considera o conforto como um dos mais importantes atributos de tomada de decisão na compra de uma peça de vestuário. A busca para atribuir aos tecidos as características desejadas pelo mercado consumidor impulsiona a engenharia têxtil a trabalhar em todos os setores: fibras, fios, acabamentos e equipamento têxtil (VALLE et al. 2004).

Para Bartels (2005), o conforto têxtil aplicado ao esporte apoia-se em três eixos: elasticidade, regulação térmica e toque. De acordo com Vasconcelos (2006) o transporte de umidade é importante componente no conforto térmico, porém difícil de ser medido e quantificado.

De acordo com Filgueiras, Fangueiro e Raphaelli (2008), considerando a dinâmica esportiva existem roupas específicas a cada tipo de atividade, sexo e ambiente de sua realização. O mesmo tipo de esporte pode ter roupas diferenciadas uma vez que as condições ambientais sejam bem distintas. A roupa que o atleta veste durante a atividade física tem

papel fundamental no seu desempenho, uma vez que sua constituição, modelagem, montagem, toque e caimento podem interferir no resultado final, influenciando entre o desejado e o obtido.

Durante os processos de concepção e desenvolvimento, alguns aspectos são abordados por McCann et al. (2005), para a satisfação do utilizador tais como: a cultura, as necessidades do corpo, as necessidades da atividade e a estética. A utilização desse conjunto definirá a estrutura, forma, estilo e detalhes de maneira diferenciada do produto final, que terá principalmente características funcionais.

De acordo com Washino (1993), há três categorias de aplicação das funções dos têxteis funcionais: aqueles em que a função é absolutamente necessária; aqueles onde a falta de função é uma desvantagem e os casos onde a função é desejável. Entretanto, dentro dessas possibilidades o vestuário para prática esportiva requer e se encaixa nas três categorias. Tomando como exemplo a função conforto: a sua presença é fundamental para o desempenho do seu utilizador, a sua falta causa o desconforto.

Segundo Borelli et. al (2013), exigem-se funcionalidades diversas para cada aplicação dos têxteis. Porém há um consenso quando esta se relaciona ao conforto, mesmo sendo um parâmetro subjetivo e passível de avaliação individual. Este consenso é traduzido pela expectativa de que o conforto deve existir não somente quando se realiza uma atividade física, mas em qualquer atividade em que haja transpiração, que em sua primeira fase é gerada pelo corpo na forma de vapor, e em uma segunda fase condensando-se em forma de líquido.

Portanto, evidencia-se a necessidade de utilizar tecidos que possuam um bom transporte de umidade, que em aplicações no vestuário, é uma das propriedades mais relevantes na avaliação da sensação de conforto e em aplicações técnicas, relaciona-se as funcionalidades exigidas para o desempenho do artigo.

1.1. Objetivo

O objetivo desse trabalho é realizar uma avaliação dos resultados obtidos no equipamento MMT em tecidos de malha fabricados com diversos tipos de fios e de contexturas e comparar os resultados com outros métodos de medida de gerenciamento de

umidade, para verificar a eficácia do equipamento em quantificar a diferença de comportamento entre os tecidos analisados.

1.2. Justificativas

Segundo Vasconcelos, F. G., Sanches e Vasconcelos F. B. (2016), os tecidos terão exigências diferentes relacionadas à gestão da umidade em função da temperatura do ambiente e o tipo de atividade realizada pelo usuário, sendo assim, em cada caso, algumas propriedades presentes nos tecidos serão mais importantes, sendo necessário entender à qual situação de temperatura e atividade física o artigo estará destinado, a Figura 1 mostra que a medida em que o nível de atividade física é mais intenso o tecido terá mais exigências em termos de performance e conforto, consequentemente se tornando um produto de maior valor agregado e apresentando-se a preços mais elevados ao consumidor, atendendo a um nicho de mercado cada vez menor e mais específico.

Fonte: Vasconcelos, F. G., Sanches e Vasconcelos F. B., 2016.

De acordo com Matusiak (2005), a influência do vestuário na troca de calor entre o corpo e o meio exterior depende de diversos fatores relacionados com o ambiente, ou seja, a umidade, a temperatura atmosférica e a circulação do ar; mas que tão importante quanto esses fatores, é a matéria prima: a micro e macro estruturas do vestuário. Aberturas de centésimos ou milésimos de milímetros, estruturas multicamadas, ou mesmo os artigos que mudam de fase permitem a rápida libertação do vapor da água deixando o corpo e a roupa seca, sem ocorrer o resfriamento pós-exercício, garantindo o conforto sem atrapalhar o desempenho do atleta. A Figura 2 mostra as diferenças de exigência para as características dos tecidos de acordo com a aplicação, ao variar o nível de atividade física e a temperatura (clima) da região onde a atividade física será realizada.

Figura 2: Relação entre temperatura e atividade física

Fonte: Vasconcelos, F. G., Sanches e Vasconcelos F. B., 2016.

A ciência dos materiais, as tecnologias de transformação e a integração com a tecnologia da informação possibilitam a criação de produtos e materiais com as características e propriedades necessárias e essenciais à prática de esportes, segundo Filgueiras, Fangueiro e Raphaelli (2008).

Entendendo as diferenças relacionadas às exigências que os tecidos sofrerão em sua utilização, os tecidos denominados CoolMax^{®1}, por exemplo, com foco na gestão de umidade são categorizados pelo seu nível de performance que se dividem em três categorias, extreme, active e everyday. É realizada uma análise de desempenho dos tecidos quanto a sua capacidade de gestão de umidade, de acordo com as exigências que o produto terá em termos de atividade física. Os diferentes níveis de atividade física e o tipo de conforto aos quais estes estão associados estão ilustrados na Figura 3.

Figura 3: Diferentes tipos de conforto

Importância dos vários tipos de conforto em função da atividade física

Fonte: Vasconcelos, 2006.

Do vestuário, de maneira geral, é aceita a visão de conforto total, que se subdivide em quatro aspectos fundamentais:

- Conforto Termo fisiológico – traduz um estado térmico e de umidade à superfície da pele confortável, que envolve a transferência de calor e de vapor de água através dos materiais têxteis ou do vestuário;

¹¹ CoolMax[®] é marca registrada da Invista S/A.

- Conforto Tátil-Sensorial de “toque” – conjunto de várias sensações neurais, quando um têxtil entra em contato direto com a pele;
- Conforto Ergonômico – capacidade que uma peça de vestuário tem de “vestir bem” e de permitir a liberdade dos movimentos do corpo;
- Conforto Psicológico-Estético – percepção subjetiva da avaliação estética, com base na visão, toque, audição e olfato, que contribuem para o bem-estar total do portador (SLATER, 1997).

Em todas estas definições, há um número de componentes essenciais que, estando o conforto relacionado com a percepção subjetiva de várias sensações, abrange muitos aspectos sensoriais humanos e que devem ser buscados como objetivos no resultado final dos produtos (BROEGA, 2009).

As propriedades de um tecido são determinadas em parte a partir das propriedades das fibras das quais ele é feito. O conforto proporcionado por uma roupa depende das propriedades de transferência de calor e de gerenciamento de umidade das fibras que constituem o tecido do qual ela foi confeccionada. No entanto, vários outros fatores são importantes na dissipação de calor e umidade, tais como a geometria e densidade das fibras, a estrutura dos fios e tecidos e os tratamentos e acabamentos aplicados durante a fabricação da roupa (VASCONCELOS F. G.; VASCONCELOS F. B., 2014).

Para caracterizar objetivamente a propagação de líquido e as propriedades de transporte de umidade dentro e entre as superfícies têxteis, um instrumento, chamado o Moisture Management Tester (MMT), foi desenvolvido (LI et al. 2002).

Segundo Yao et al. (2006), derivados dos dados dos testes e das curvas de medição do MMT, uma série de índices são definidos e calculados para caracterizar o desempenho de gestão de umidade de tecidos. No método de ensaio seis índices são definidos. Os tecidos podem ser avaliados e classificados em sete categorias, que dão uma avaliação global direta e a classificação para os tecidos testados. Os resultados do teste podem ser apresentados através

da impressão digital de índices, gráfico teor de água, perfil de multi-medição e mapa de localização de água.

Em um estudo realizado por HU, J. et al. (2005), oito grupos de artigos para sportswear foram testados no Moisture Management Tester (MMT) e os resultados mostraram que as propriedades de gestão de umidade são significativamente diferentes entre eles. As medidas objetivas obtidas pelo MMT foram comparadas com percepções subjetivas de sensações de umidade durante a prática de exercício físico e constatou-se que a capacidade de transporte unidirecional (R) e a capacidade global de gestão de umidade (OMMC) fornecidas pela metodologia do MMT estão significativamente correlacionadas com a percepção subjetiva de sensação de umidade durante o exercício físico. Neste estudo concluiu-se que as percepções subjetivas de sensações de umidade provocadas pelo suor durante a prática de exercícios físicos podem ser previstas pelas medidas do MMT.

Yao, Li e Kwok (2008), realizaram uma análise da comparação entre os resultados do MMT com outros métodos de teste, e concluiu-se que o tempo de molhamento obtido pelo MMT em comparação com o teste de hidrofiliidade por absorção (Drop Test) possuem uma correlação significativa.

1.3. Pergunta

A metodologia utilizada pelo Moisture Management Tester (MMT) é mais eficiente para avaliar o transporte e a absorção de líquidos em tecidos, comparada a outros métodos existentes?

1.4. Hipótese

O princípio de funcionamento do equipamento e a metodologia utilizada tentam ser mais fiéis ao que acontece com o tecido na prática, sendo assim espera-se que os resultados apresentados sejam mais representativos.

1.5. Metodologia

Foram produzidas malhas nos laboratórios do Centro Universitário da FEI em máquina circular de mono frontura e dupla frontura, com fator de cobertura aberto e fechado, com fios de poliéster e de poliamida, de filamentos standard e microfibras.

As amostras produzidas passaram por um processo de lavagem doméstica. Após lavagem foram submetidas, no laboratório têxtil da Interface Engenharia Aduaneira, aos ensaios de caracterização de Gramatura, Densidade (colunas e carreiras por cm) e Espessura.

Após a caracterização as amostras foram submetidas comparativamente aos métodos de avaliação de gerenciamento de umidade através de ensaios no equipamento MMT (Moisture Management Tester) e dos testes de Hidrofilidade por absorção e Hidrofilidade por capilaridade.

Os resultados obtidos foram então analisados com auxílio do software estatístico MINITAB.

1.6. Organização do trabalho

O trabalho foi dividido em cinco capítulos, sendo Introdução, Revisão Bibliográfica, Materiais e Métodos, Resultados e Discussão e Conclusão.

O Capítulo 1 – Introdução: Apresenta um apanhado básico do que será tratado no trabalho, com objetivos, justificativa, pergunta, hipótese, metodologia e o plano de organização do trabalho.

O Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: Trata das fibras têxteis, do Poliéster e Poliamida mais especificamente, dos fios texturizados, microfibras, malharia, mais detalhadamente sobre malharia de trama circular mono e dupla frontura, Funcionalidade dos têxteis, Conforto, Suor, Principais marcas no mercado e por fim o princípio de funcionamentos do Moisture Management Tester (MMT).

O Capítulo 3 – Materiais e Métodos: São descritos em detalhes todos os materiais, equipamentos, metodologias e normas utilizadas no trabalho.

O Capítulo 4 – Resultados e Discussões: São descritos todos os resultados obtidos e são apresentadas análises dos mesmos e respectivas discussões.

O Capítulo 5 – Conclusão: São apresentadas as conclusões obtidas no trabalho, comparando-as com as hipóteses inicialmente apresentadas no capítulo da introdução.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fibras

Uma fibra pode ser definida como um sólido relativamente flexível, macroscopicamente homogêneo, com uma pequena seção transversal e elevada longitvidade em relação à largura (GUILLÉN, 1991).

As fibras são as unidades fundamentais utilizadas na fabricação de têxteis. Para que uma fibra têxtil de origem a têxteis de boa qualidade ela deve ter boa resistência, elasticidade e um comprimento que torne possível a coesão na fiação das mesmas (HOLLEN; SADDLER; LANGFORD, 1994).

Gordon (1993), afirma que todas as fibras existentes compartilham uma característica em comum: suas moléculas são sempre longas e filiformes, isto quer dizer que as moléculas de matéria fibrosa estão em forma de centenas ou mesmo milhares de átomos individuais amarrados em conjunto, um após o outro.

De acordo com Araujo e Castro (1986), existem fibras descontínuas e fibras contínuas. As descontínuas tem o comprimento limitado a alguns centímetros, enquanto as contínuas tem comprimento muito grande sendo limitado apenas por razões técnicas.

As fibras têxteis podem ter várias origens, critério utilizado para a sua classificação, podendo ser de origem natural, que são aquelas produzidas pela natureza, de origem vegetal ou animal, sob uma forma que as tornam aptas para o processamento têxtil, ou de origem não-natural, conhecidas como fibras químicas, sendo produzidas por processos industriais, podendo ser a partir de polímeros naturais transformados por ação de reagentes químicos, que são as chamadas fibras artificiais, ou por polímeros obtidos por síntese química, sendo denominadas fibras sintéticas (ERHARDT, 1976a). A divisão das fibras têxteis está demonstrada no Quadro 1:

Quadro 1: Classificação das Fibras Têxteis

Fibras Têxteis				
Naturais			Químicas	
Vegetais	Animais	Minerais	Artificiais	Sintéticas

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2015

A Figura 4 mostra o a mudança em relação ao comportamento de consumo das fibras têxteis no período de 1990 a 2011, dividindo-as em químicas e naturais e também o aumento de consumo total das fibras têxteis no mundo.

Figura 4: Consumo mundial de Fibras Têxteis (milhões de toneladas)

Fonte: Adaptado de www.textileworld.com

2.2. Fibras Naturais

As fibras naturais podem ser agrupadas em três classes, de acordo com sua origem: vegetais, animais ou minerais.

As fibras vegetais podem ser provenientes de sementes, caules, folhas e frutos. Dentre as principais fibras vegetais destacam-se algodão, linho, rami e juta. As de origem animal provém de glândulas sericígenas de insetos, sobre forma de filamentos, que é o caso da seda, ou de pelos de animais constituídos de queratina, assim como a lã. As fibras minerais vêm de rochas com estrutura fibrosa e são constituídas essencialmente por silicatos, como por exemplo, as fibras de amianto (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

2.2.1. Algodão

Trotman (1984), diz que considerando os vários tipos de fibras de origem natural, artificial ou sintética, a pluma do algodão destaca-se como a mais importante matéria-prima utilizada na cadeia têxtil. É uma fibra unicelular coletada da semente da planta de algodão.

A função dessas fibras é proteger a semente imatura e ajudar em sua dispersão quando estiver madura. Essas fibras constituem o revestimento piloso do fruto do algodoeiro. A Figura 5 é uma representação da vista longitudinal da fibra de algodão.

Figura 5: Representação da vista longitudinal da fibra de algodão

Fonte: Adaptado de Alfieri, 2012.

O algodão tem coloração branca amarelada e sua qualidade depende do comprimento e do número de torções das fibras (HOLLEN; SADDLER; LANGFORD, 1994). Quanto ao comprimento, quanto mais comprida a fibra maior sua qualidade, porém o importante é a regularidade de comprimento das fibras provenientes de uma mesma planta (ARAUJO; CASTRO, 1986). As torções são o que caracterizam a fibra de algodão, essas torções formam uma ondulação natural que permite que as fibras tenham coesão umas com as outras (MEDINA, 1959).

A qualidade de um algodão é o conjunto de propriedades físicas e químicas e de características ou atributos que determinam sua utilidade, essa definição refere-se às características naturais das fibras, mas também ao modo como o algodão se apresenta no mercado (HARRIES, N.; HARRIES, T., 1976).

2.2.2. Lã

Segundo Erhardt (1976a), dá-se o nome de lã ao revestimento piloso natural dos ovinos vulgarmente chamados de carneiros, ovelhas ou cordeiros.

O carneiro é indiscutivelmente a principal fonte de pelos para uso têxtil. Pelos de outros animais, embora em reduzida proporção, como os do Camelo, Angorá, Cashemire, Alpaca, Lhama e Vicunha, também têm aplicações na manufatura de têxteis. Diversas são as raças de carneiros produtoras de lã, basicamente agrupadas em duas classes principais: as Merinas e as Cruza (Crossbred) (ONIONS, 1962).

As ondulações representam uma das mais importantes características da lã, distribuídas por todo o comprimento das fibras. O comprimento permite salientar duas características importantes que são a uniformidade no comprimento das fibras do mesmo tipo e a relação entre o comprimento e espessura das fibras. Uma fibra de lã vista ao microscópio mostra claramente marcas características na superfície e em perfil sobrepostas. Essas marcas são chamadas de cutícula, que é formada por uma sucessão de células (escamas) envolvendo a fibra, cada uma sobrepondo-se parcialmente a outra. A Figura 6 é uma vista microscópica longitudinal da fibra de lã, possibilitando visualizar suas várias camadas.

Figura 6: Corte longitudinal das fibras de lã

Fonte: Adaptado de Alfieri, 2012.

Quando se observam as fibras, nota-se que o arranjo e as dimensões das escamas variam de uma fibra para a outra (BERGEN, 1963). Segundo Araujo e Castro (1986), as escamas da lã são responsáveis pela feltragem, que é uma característica típica e única dessas fibras, manifestando-se por uma alteração dimensional irreversível dos produtos fabricados com lã, quando submetidos a tratamentos de agitação mecânica na presença de um lubrificante.

2.2.3. Seda

De acordo com Araujo e Castro (1986), a seda é uma fibra natural contínua produzida pelo bicho da seda e que pelas suas propriedades, tais como brilho, leveza, maciez é utilizada para artigos nobres, devido ao seu custo elevado.

Há dois tipos principais de bicho da seda: os cultivados e os selvagens, sendo que o tipo produzido sob um rígido controle é que dá origem à seda de qualidade superior. O bicho

da seda selvagem usualmente produz uma seda mais forte e mais resistente aos álcalis, mas tem a desvantagem de carecer de uniformidade. O tipo mais importante de seda selvagem é o obtido na Índia e é denominada “Seda Tussah” (FONSECA, A. S.; FONSECA, T. C., 1988).

2.3. Fibras Químicas

A ideia de se produzir fibras não resultantes de processos existentes na natureza, mas sim como consequência da ação do homem surgiu em meados do século XVII, quando se pensou na possibilidade de produzir “seda” que não fosse resultado da segregação glandular de um inseto. (ARAUJO; CASTRO, 1986).

Caracterizam-se fibras químicas, também conhecidas como “man-made-fibers” todas aquelas que não são obtidas de maneira natural, elas são produzidas por tratamentos químicos a determinados materiais, como petróleo, carvão, ou polpa de celulose (COLLIER, 1980).

Segundo Salem, De Marchi e Menezes (2005), a primeira fase da fabricação das fibras químicas é feita em reator químico por uma reação chamada polimerização. Na polimerização dois produtos químicos (A e B) reagem formando um terceiro produto (AB), chamado monômero. Em seguida os monômeros reagem entre si formando uma longa cadeia molecular chamada polímero.

Ainda de acordo com Salem, De Marchi e Menezes (2005), depois da reação química são feitos alguns procedimentos físicos: o polímero é fundido por aquecimento, em seguida é pressionado por uma fiação contra uma corrente de ar frio. Então formam-se filamentos que irão sofrer estiragem, torção e enrolamento.

A produção dessas matérias têxteis não está sujeita as oscilações às quais as fibras naturais encontram-se. O volume de produção pode ser expandido de acordo com a demanda (GUILLÉN, 1991).

Essas fibras possuem propriedades que as tornam superiores às naturais em alguns aspectos, devido a sua elevada resistência, baixa absorção de umidade, estabilidade dimensional, entre outras. Além disso, apresentam facilidades nos cuidados com os artigos,

por serem mais fáceis de lavar, resistirem a insetos, e à ação de bolor e bactérias que podem causar apodrecimento (ERHARDT et al., 1976b).

Koslowski (1998) afirma que as fibras químicas se subdividem em dois grupos, fibras artificiais e fibras sintéticas. Fibras artificiais são formadas por macromoléculas lineares obtidas e fornecidas ao homem pela natureza, onde a matéria prima se encontra pronta, o homem por sua vez através de artifícios químicos, as coloca em condição de uso têxtil, enquanto as fibras sintéticas são formadas a partir de macromoléculas criadas (sintetizadas) pelo homem.

Segundo Alfieri (2009), As fibras químicas apresentam-se nas seguintes terminologias: fios monofilamentos, fios multifilamentos, fios elementares, fibras descontínuas, flocos, cabo tow, fibras perfiladas, fibras bicomponentes, filamentos cortados de filmes, fibras cortadas de filmes e fibras de fibrilação.

2.3.1. Viscose

O processo comum às fibras artificiais celulósicas parte da celulose de línter de algodão ou da polpa da madeira. Todas as instalações pertinentes ao processo viscose baseiam-se em dissolver esta matéria prima através de transformações químicas e num processo contínuo de extrusão, transformá-la em fios, que coagulados e, com a celulose regenerada, podem ser utilizados como fios contínuos ou fibras cortadas (GUILLÉN, 1990).

A celulose é purificada para separar das fibras as matérias aglutinantes tais como as ligninas, as ceras, as resinas vegetais, as pectinas e as celulosas de baixo peso molecular denominadas hemicelulosas (LEWIN; PEARCE, 1998).

Segundo Collier (1980), esta fibra produz fios macios, brilhantes e sedosos. A Viscose pode ser obtida utilizando a celulose de qualquer tipo de vegetal, mas geralmente é feita a partir da polpa da madeira. Os tecidos produzidos têm caimento mole, e misturado a outras fibras têm o poder de torná-las mais suaves.

Por seu aspecto macio, brilhante e sedoso a fibra de viscose logo foi chamada de “Seda Artificial”, esta semelhança, no entanto, é apenas aparente, pois tanto em sua composição química, quanto em suas propriedades têxteis, os dois produtos diferem bastante.

Hoje, a viscose, tem um campo de aplicação próprio em artigos que não concorrem com a Seda Natural (SINTES, 1953).

2.3.2. Acetato

Resultante da hidrólise parcial do Triacetato foi descoberto o processo de fabricação do Acetato. Em pouco tempo tornaram-se notáveis as aplicações desta fibra no mercado, que foram utilizadas para revestimentos das asas dos aviões na primeira guerra mundial (1914-1918) e posteriormente foi implementada na indústria do vestuário, experimentando vários segmentos deste mercado (WOODINGS, 2001).

Diferentemente da Viscose, essa fibra necessita de uma celulose com alto grau de pureza, por isso são utilizadas fibras de algodão com comprimento não aproveitável para a fiação.

O Acetato é uma fibra resistente a ácidos diluídos, sendo, no entanto, bastante sensível a ácidos concentrados, são mais leves que o algodão e a viscose e praticamente igualizam o peso da lã. Além disso, têm ótimo desenvolvimento da cor e um brilho e toque semelhantes ao da seda, e conferem uma sensação de conforto (LEWIN; PEARCE, 1998).

Inicialmente esta fibra foi utilizada na fabricação de filmes fotográficos, contudo, a oxidação resultante da passagem do tempo, bem como, a libertação de ácidos acéticos, determinaram a sua substituição pela poliamida. Das várias aplicações no mercado, destacam-se por serem utilizadas para fabricação de forros (interior de roupas) e filtros de cigarro, afirma Woodings (2001).

2.3.3. Modal

De acordo com Woodings (2001), modal é uma fibra de celulose regenerada normalmente, fabricadas pelo mesmo processo que a Viscose. As fibras de modal possuem elevada tenacidade e alto módulo de elasticidade à úmido.

Ainda segundo Woodings (2001) o toque macio oferece uma sensação como "pele sobre peles". As características fisiológicas do Modal reforçam essa sensação, pois a fibra absorve 50% a mais de umidade do que o algodão e de forma mais rápida, assim a pele permanece seca e consegue respirar. Mesmo após muitas lavagens as fibras de modal

permanecem com essas propriedades. Por possuir uma boa capacidade de retenção dos corantes, obtém-se artigos têxteis com cores bastante fortes e brilhantes.

2.3.4. Liocel

Na década de 80, começaram as buscas por uma fibra artificial que fosse menos poluente, ou seja, procurava-se uma fibra que fosse totalmente biodegradável. O Liocel é uma fibra obtida a partir de árvores cultivadas com esse propósito especificamente (LEWIN; PEARCE, 1998).

A fibra de Liocel (registrada pelo nome de TENCEL^{®2}, nos EUA) pode adquirir as mais variadas características, sendo algumas análogas a várias fibras naturais ou sintéticas. Pode resultar numa fibra tão suave como a seda, tão fresca como o linho, tão quente como a lã ou tão resistente como o poliéster e ostenta uma capacidade de absorção de umidade semelhante ao algodão (WOODINGS, 2001).

O Liocel apresenta-se com várias vertentes, obtendo as mais variadas espessuras. A sua elevada tenacidade faz com que esta fibra possua uma grande estabilidade dimensional, voltando ao seu estado inicial facilmente. Após absorver umidade, lança-a novamente para a atmosfera, permitindo o controle da transpiração, proporcionando conforto e bem estar. Para, além disso, não causa irritação na pele, regula a temperatura do corpo e transporta as bactérias para o seu interior, impedindo o contato destas com o indivíduo, o que a torna numa fibra higiênica. Esta vertente contém pelos na sua superfície, proporcionando um toque de pele de pêssego. Quando seca, corresponde a uma fibra má condutora elétrica (WOODINGS, 2001).

2.3.5. Polipropileno

A matéria prima para a produção do polímero de Polipropileno é o propileno, gás incolor. O propileno pertence ao grupo das olefinas (KOSLOWSKI, 1998).

As fibras de polipropileno têm boas propriedades físicas e mecânicas, com ótima elasticidade, baixa tendência à formação de “pilling” e boa estabilidade dimensional, desde

² TENCEL[®] é a marca registrada de Tencel Ltd.

que termofixados. Possuem dureza superficial, alta tenacidade, baixíssima absorção de umidade, ótima resistência aos agentes químicos sintéticos e naturais, resistência aos solventes em temperatura ambiente e boa resistência a óleos e graxas (COLLIER, 1980).

Sintes (1953), afirma que elas possuem a menor densidade, oferecem dificuldade ao tingimento, pouca solidez à luz e às condições climáticas. Além disso, são sensíveis a influência altas temperaturas.

2.3.6. Acrílico

A matéria prima para a fabricação das fibras de acrílico é acrilonitrila (cianeto de vinila) que pode ser obtido a partir do amoníaco, propilenos e oxigênio. A polimerização do acrilonitrila efetua-se em emulsão na água e os catalizadores utilizados são peróxidos minerais. Pode ser utilizado o processo de fiação a seco, na qual a fieira desemboca numa câmara de evaporação onde os filamentos reencontram uma corrente de ar quente, de azoto ou vapor de água, ou por fiação a úmido, onde a coagulação faz-se num banho rico em água, o qual contém um coagulante que é na maior parte das vezes, uma mistura água diluente (ARAUJO; CASTRO, 1986).

Em ambos os processos de fabricação, os filamentos sofrem um alongamento elevado (4 a 10 vezes o seu comprimento quando saem da fieira), o que melhora a sua cristalinidade e lhes confere boas propriedades dinamométricas. Este tratamento efetua-se a uma temperatura oscilando entre os 120 e os 150°C (HARRIES, N.; HARRIES, T., 1976).

Possuem elevada resistência à ruptura, porém apresentam baixa absorção de umidade e intumescimento, as fibras secam depressa e são resistentes ao calor de irradiação. Sobressaem-se pelo aspecto lanoso e toque do mesmo tipo, pesam pouco, conservam o calor, resistem ao amarrotamento, tem ótima resistência à luz e intempéries (HOLLEN; SADDLER; LANGFORD, 1994).

2.3.7. Elastano

O Elastano é uma fibra sintética inventada pela DuPont³, com nome comercial Lycra^{®4}, sendo conhecida como Spandex nos EUA e Canadá, descrito em termos químicos como um poliuretano segmentado. Suas notáveis propriedades de alongamento e recuperação enobrecem tecidos, adicionando novas propriedades de caimento, conforto e contorno das roupas. Pode ser esticado quatro a sete vezes seu comprimento, retornando instantaneamente ao seu comprimento original quando sua tensão é relaxada. Resiste ao sol e água salgada, e retém sua característica flexível ao longo do tempo, segundo Collier (1980).

Um tecido jamais é feito inteiramente de elastano, ele é utilizado em pequenas quantidades, sendo combinado com outra fibra, natural ou sintética, independentemente da mistura, o tecido irá sempre conservar a aparência e toque da fibra principal (GUILLÉN, 1990).

2.4. Poliéster

Poliéster é o termo genérico para uma substância em que o polímero de longa cadeia sintética é composto de, pelo menos, 85% em massa de um éster do álcool dihidrico e do ácido tereftálico ou do Dimetil Tefeftalato. A Figura 7 é uma ilustração representativa da estrutura molecular da fibra de poliéster que se repete ao longo de sua cadeia ($\text{HOOC} - \text{C}_6\text{H}_4 - \text{COOH}$)_{GP}.

Figura 7: Estrutura molecular do Poliéster

Fonte: Aguiar Neto, 2005.

³ DuPont S/A

⁴ Lycra[®] é marca registrada da Dupont S/A.

Um bom polímero para uso têxtil apresenta, normalmente, uma linearidade na direção do eixo longitudinal. Poliésteres são macromoléculas que apresentam a ligação éster em cada unidade repetitiva.

2.4.1. História do Poliéster

De acordo com Sintes (1953), desde os tempos da química primitiva, os poliésteres naturais são conhecidos e tem sido largamente utilizados, o primeiro poliéster sintético foi obtido em 1833 por Gay-Lussac e Pelouze por aquecimento do ácido láctico, porém os poliésteres com estrutura molecular linear tornaram-se conhecidos somente na década de 40, quando Carothers obteve poliésteres alifáticos a partir de hidroxí-ácidos.

Em 1941, nos laboratórios da Callico Printers Association⁵, em Manchester, John R Whinfild e James T. Dickson propuseram os poliésteres obtidos a partir de sintéticos ácidos aromáticos e glicóis que poderiam ser usados para a produção de fibras. Somente após a Segunda Guerra Mundial a I.C.I.⁶ da Inglaterra e a DuPont⁷ de Nemours nos Estados Unidos começaram pesquisas para colocar o Poliéster no mercado consumidor. Nos EUA, a DuPont⁷ iniciou a produção experimental da fibra com o nome de “Fibra V” e mais Tarde recebendo o nome de Dacron^{®8} (AGUIAR NETO, 2005).

A I.C.I.⁶ Iniciou seu processo industrial em 1955 e deu a seu produto a denominação de Terylene^{®9} e a Hoechst A.G., em associação com a Enka¹⁰ iniciou sua produção em 1956 e sua fibra recebeu o nome de Trevira^{®11}.

Utilizada inicialmente na fabricação de tecidos para decoração, o poliéster foi usado com sucesso na fabricação de todos os tipos de roupa por ter como características o fato de não amarrotar, não deformar e secar rapidamente.

⁵ Calico Printers Association LTD

⁶ Imperial Chemical Industries LTD

⁷ Dupont S/A

⁸ Dacron[®] é marca registrada da Dupont S/A.

⁹ Terylene[®] é marca registrada da Imperial Chemical Industries LTD

¹⁰ Enka S/A

¹¹ Trevira[®] é marca registrada da Enka S/A

Apesar da tecnologia a favor do aperfeiçoamento das fibras sintéticas, os anos 80 foram marcados por períodos de “rejeição” aos sintéticos, pois a população mundial descobriu inúmeras desvantagens dos tecidos produzidos com essas fibras.

Preterida no mercado têxtil, a indústria iniciou uma série de pesquisas para o aprimoramento da fibra sintética, tendo como objetivo principal a eliminação das propriedades de desconforto amplamente difundidas nesse período. Dessas pesquisas resultou a principal evolução das fibras sintéticas conhecida como microfibras que propicia ao fio melhor toque, respirabilidade e transporte de umidade por capilaridade (GUILLEN, 2001).

2.4.2. Processo de fabricação do Poliéster

As principais matérias-primas para a obtenção do polímero de poliéster são o paraxileno, o ácido tereftálico (TPA), o dimetiltereftalato (DMT) e o etilenoglicol, conforme mostrado na Figura 8:

Fonte: Vasconcelos, 2013

As duas principais maneiras de obtenção são através do Dimetil Tereftalato (DMT), Figuras 9 e 10, ou através do Ácido Tereftálico (TPA) Figuras 11 e 12.

- Dimetil Tereftalato (DMT):

Figura 9: Esterificação via DMT

Fonte: Vasconcelos, 2013

Figura 10: Polimerização via DMT

Fonte: Vasconcelos, 2013

- Ácido Tereftálico (TPA):

Figura 11: Esterificação via PTA

Fonte: Vasconcelos, 2013

Figura 12: Polimerização via PTA

Fonte: Vasconcelos, 2013

A figura 13 mostra o fluxo completo para obtenção do poliéster:

Figura 13: Fluxo completo de obtenção do Poliéster

Fonte: Adaptado de Aguiar Neto, 2005.

O poliéster é encontrado na forma de fios de filamentos contínuos, fibra cortada e cabo tow. Os filamentos são produzidos em uma variação de brilho, classificada em brilhante, semi-opaca e opaca e em grande faixa de títulos e números de filamentos por fio. As fibras cortadas são produzidas em uma variação de títulos e comprimentos entre 38 e 254 mm, e normalmente são fibras opacas. São fabricados especialmente vários tipos de fibra cortada para uso em diferentes sistemas de fiação como lã cardada, lã penteada, algodão, linho, entre outros (AGUIAR NETO, 2005).

2.4.3. Morfologia do Poliéster

As fibras de poliéster apresentam uma estrutura molecular micelar, um teor de cristalinidade em torno de 50% e alto grau de orientação molecular nas zonas amorfas. Sua estrutura deriva das características moleculares, ou seja, molécula curta, molécula semirrígidas e regular, dotada de grupos capazes de formar ligações intermoleculares (FOURNÉ, 1998). As Figuras 14 e 15 mostram o corte longitudinal e transversal da fibra de poliéster respectivamente. A Figura 16 representa a estrutura molecular do poliéster, dividida em zonas cristalinas e amorfas.

Figura 14: Corte longitudinal da fibra de poliéster

Fonte: Vasconcelos, 2006.

Figura 15: Corte transversal da fibra de poliéster

Fonte: Vasconcelos, 2010.

Figura 16: Estrutura Molecular do PES

Fonte: Alfieri, 2009

2.4.4. Propriedades do Poliéster

Segundo Borelli (2013), quimicamente, a fibra possui alta resistência aos microorganismos (mofos, traças, entre outros), boa resistência aos ácidos diluídos e aos concentrados a frio, resiste aos álcalis fracos, moderadamente aos álcalis fortes a temperatura ambiente e com aumento da temperatura se hidrolisa. Apresenta resistência aos oxidantes e redutores. É solúvel no nitrobenzeno, fenol e metacresol a quente. É insolúvel na maioria dos álcalis, em benzeno, dioxano, dimetilformamida e nos solventes orgânicos empregados a lavagens a seco. Entre suas propriedades, destaca-se sua baixa absorção de umidade, ou regain, igual a 0,4%.

Alfieri (2009), diz que os principais países produtores e exportadores de poliéster estão na Ásia e que as principais características do fio de poliéster contínuo são: baixa absorção de umidade, resistência à lavagem e à luz, pouco amarrotamento e termoplasticidade.

As principais aplicações são: tecidos decorativos como cortinas e capas para móveis; linhas para costura; tecidos para artigos esportivos; vestuário em geral, como blusas, shorts e calças; fios para malharia e tecelagem; não tecidos como mantas; enchimento; tecidos técnicos; entre outros (ALFIERI, 2009).

Em seu estado inacabado a fibra é hidrófoba e tem capacidade de absorção de água muito menor do que do algodão, sua taxa de absorção é lenta em comparação com outras fibras sintéticas, embora seja maior do que a do algodão. As principais vantagens das fibras sintéticas em relação às fibras naturais são sua capacidade de manter o calor mesmo que estejam úmidas e secarem relativamente rápido, também podem ser consideradas hipoalergênicas (BORELLI, 2013).

Segundo Alfieri (2009), sob baixas extensões, os fios de filamento contínuo e fibras cortadas de poliéster estão sujeitos durante o uso a desprezíveis deformações em virtude dos elevados módulos que apresentam. O fio de filamento contínuo, por exemplo, recupera-se rapidamente de um alongamento de 1%. Sua recuperação será superior a 90% para um alongamento de 3%. O ponto de fusão cristalino é de 260°C e tem uma temperatura de transição vítrea (TG) de 80°C, ou seja, bastante superior a temperatura ambiente e por essa razão não pode ser estirado a frio.

De acordo com Koslowski (1998), o poliéster não se inflama com facilidade, funde e se carboniza quando exposto a fogo direto, não tem odor facilmente reconhecido durante a combustão. Resiste à ação da radiação ultravioleta do sol muito melhor que as poliamidas e colocado o sobre a proteção de um vidro transparente resiste durante muitos anos.

Ainda segundo Koslowski (1998), o efeito dos ácidos é praticamente insignificante, diferenciando-se da maioria das fibras têxteis e os álcalis não atacam o poliéster em condições normais, mas podem degradá-lo em condições de alta temperatura e pressão superior à atmosférica através de hidrólise alcalina. O poliéster tem boa resistência à maioria dos agentes

oxidantes e redutores e não é solúvel na maior parte dos solventes orgânicos, exceto os do grupo dos fenóis, os ácidos, mono, di e tricloroacético dissolvem o poliéster, enquanto os hidrocarbonetos e os solventes comuns não afetam as fibras de poliéster.

2.4.5. Oligômeros

Durante a fabricação do poliéster formam-se polímeros pequenos, o mais comum é formado por três monômeros. Estes produtos são chamados de oligômeros, eles ficam no interior e na superfície da fibra e causam problemas sérios como manchas brancas no tingimento de malhas e tecidos e também depósitos nas máquinas (SALEM; DE MARCHI; MENEZES, 2005). A Figura 17 mostra a formação química dos oligômeros e a Figura 18 mostra uma vista microscópica dos oligômeros na superfície da fibra de poliéster.

Figura 17: Oligômeros

Fonte: Alfieri, 2009

Figura 18: Oligômeros na superfície da fibra de PES

Fonte: Vasconcelos, 2013

2.5. Poliamida

Poliamidas são polímeros obtidos a partir da poli condensação de monômeros cuja ligação das moléculas ocorre através da formação de grupos amida. A matéria prima utilizada para a fabricação das fibras de poliamida é a caprolactama para a PA 6 e a hexametileno diamina e o ácido adipico para a PA 6.6. As poliamidas são chamadas normalmente pelo nome comercial Nylon^{®12} (SINTES, 1953). A estrutura das poliamidas 6 e 6.6 estão ilustradas na Figura 19:

Figura 19: Estrutura molecular da Poliamida 6 e da Poliamida 6.6

Fonte: Vasconcelos, 2010.

2.5.1. História da Poliamida

A poliamida foi a primeira fibra sintética a ser produzida em escala industrial e a única existente antes da Segunda Guerra Mundial, A ideia inicial era desenvolver uma fibra para substituir a viscose.

¹² Nylon[®] é marca registrada da Dupont S/A.

A poliamida 6.6 foi inicialmente pesquisada pelo químico americano Wallace Carothers nos laboratórios da DuPont¹⁴ a partir de 1928. Mais tarde outro pesquisador, Paul Schlack, obteve uma forma diferente de polímero, a partir da caprolactama, a qual chamou de poliamida 6. A primeira produção da poliamida em âmbito comercial foi em 1939 e sua primeira aplicação foi na confecção de meia feminina.

O termo Nylon^{®13} foi introduzida como marca pela Dupont¹⁴ e tentava traduzir a fineza do filamento, isto é, uma libra desse fio tinha um comprimento equivalente à distância de Nova Iorque (NY) a Londres (LON) e não foi registrada propositadamente para facilitar sua massificação (DEOPURA ET AL, 2008).

Entre 1939 e 1940 a Rhodiaceta (Grupo Rhône-Poulenc¹⁵) comprou da Dupont¹⁴ a licença de produção da poliamida 6.6. Em 1940 foram postas no mercado as primeiras meias de Poliamida e em quatro dias foram vendidos quatro milhões de pares.

Existe atualmente uma grande variedade de poliamidas com diferentes marcas comerciais, no entanto as poliamidas 6 e 6.6 são, de longe, as de maior produção mundial. Segundo Deopura et al (2008), há como regra geral, dois tipos de poliamida: as poliamidas XY e as poliamidas Z. Nas XY, o X refere-se ao número de átomos de carbono na diamina do monômero, enquanto o Y refere-se ao número de carbonos no diácido do monômero. Nas Z, este se refere ao número de átomos de carbono no monômero.

2.5.2. Processo de fabricação da Poliamida

A poliamida 6.6 é obtida através da hexametilândiamina $\text{H}_2\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2$ e do ácido adípico $\text{HOOC}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH}$, conforme a Figura 20.

¹³ Nylon[®] é marca registrada da Dupont S/A.

¹⁴ Dupont S/A.

¹⁵ Rhône-Poulenc S/A.

Figura 20: Obtenção da Poliamida 6.6

Fonte: Vasconcelos, 2013

Já a poliamida 6 é obtida a partir da caprolactama, $\text{OC}-(\text{CH}_2)_5\text{-NH}$, como é mostrado na Figura 21.

Figura 21: Obtenção da Poliamida 6

Fonte: Vasconcelos, 2013

Segundo Guillén (1991), o polímero da poliamida 6.6 se obtém a partir da poli condensação do hexametileno diamina e do ácido adípico, formando o adipato de hexametileno diamina, conhecido como “sal nylon”. Pelo processo de fusão, ocorre a transformação desse sal em fibras de poliamida 6.6, conforme Figuras 22 e 23.

Figura 22: Formação do Adipato de hexametileno diamina (sal nylon)

Fonte: Adaptado de Vasconcelos, 2013

Figura 23: Transformação do sal nylon em fibras de poliamida 6.6

Fonte: Vasconcelos, 2013

Já a poliamida 6 é obtida pela condensação da caprolactama e a polimerização ocorre na presença de vapor de água e um catalisador ácido. Depois de eliminar a água, o ácido e a caprolactama permanecem em equilíbrio com o polímero, este é fundido entre 250-260°C transformando-o em fibras, conforme Figura 24.

Figura 24: Condensação da caprolactama para obtenção da poliamida 6

Fonte: Vasconcelos, 2013

As fibras de poliamidas constituem uma das quatro mais importantes famílias de fibras químicas, junto com celulósicas, poliésteres e acrílicas. (GUILLÉN, 1991).

A poliamida, assim como o poliéster é fiada no processo de fiação por fusão. O polímero é fundido na extrusora e a seguir bombeado para as fieiras pela bomba de título. Após a saída das fieiras os filamentos entram em contato com ar frio solidificando-se. A seguir são estirados através de godets e enrolados em bobinas. A Figura 25 mostra o fluxo completo para obtenção da poliamida:

Figura 25: Fiação por fusão da Poliamida

Fonte: Adaptado de Aguiar Neto, 2005.

As fibras de poliamida se apresentam no mercado na forma de filamento contínuo ou fibras. De acordo com Guillén (1991), as formas de apresentação mais importantes da poliamida são, entre outras, como fio contínuo liso, fio texturizados, fio texturizado a ar e fibras para uso técnico.

2.5.3. Morfologia da Poliamida

Assim como o poliéster as fibras de poliamida apresentam-se geralmente em aspecto cilíndrico com seção transversal redonda. No entanto, assim como outras fibras sintéticas fiadas por fusão, as poliamidas podem apresentar variadas seções transversais conforme o perfil dos furos da fiação. A Figura 26 mostra a vista transversal e longitudinal da fibra de poliamida.

Figura 26: Microscopia da Poliamida

Fonte: Rhodia, 2007

As fibras de poliamida 6.6 possuem teor cristalino de 55 a 60%, enquanto a poliamida 6 possui teor cristalino de 35 a 40% (VASCONCELOS, 2013).

Durante a formação da poliamida (solidificação e estiragem), como existe ainda um alto grau de liberdade molecular, estas podem se dobrar sobre si mesmas pela atração entre os grupos amidas, levando à formação de ligações intramoleculares, como pode ser visto na Figura 27.

A estrutura molecular formada é chamada de cristalina micelar com dobramentos de cadeias moleculares. Do ponto de vista químico a maior diferença entre as duas poliamidas reside no fato, de que os grupos amida ao longo da cadeia estão dispostos de forma diferente nas duas fibras e por este motivo a poliamida 6.6 forma mais ligações intramoleculares, conforme é possível observar na Figura 27.

Figura 27: Ligações Intramoleculares da Poliamida

Fonte: Vasconcelos, 2013

Do ponto de vista químico a maior diferença entre as duas poliamidas reside no fato, de que os grupos amida ao longo da cadeia estão dispostos de forma diferente nas duas fibras.

Lewin e Pearce (1998) descrevem os filamentos como redondos, com aspecto levemente vítreo. Na fiação o polímero pode ser alterado pelo uso de produtos para tornar os filamentos opacos, como o dióxido de titânio (TiO_2) ou pela criação de uma seção transversal perfilada, como por exemplo a trilobal.

2.5.4. Propriedades da Poliamida

Segundo Guillén (1991), as propriedades da fibra de poliamida são consequência da repetição de grupos amidas ao longo da cadeia polimérica e algumas de maior ou menor importância dos grupos amidas terminais. O número amidas por 100 átomos da cadeia e a paridade do número de grupos metila entre os grupos amida sucessivos influem em propriedades como o ponto de fusão, a temperatura de transição vítrea, a densidade e a absorção de umidade.

Existem diferenças importantes nas propriedades da poliamida 6 e da poliamida 6.6 e algumas dessas diferenças estão descritas na Tabela 1:

Tabela 1: Propriedades das Poliamidas

Propriedades	PA 6	PA 6.6
Peso específico (g/cm ³)	1,13	1,14
Tenacidade a seco (g/dtex)	4,0 a 6,0	4,0 a 6,0
Tenacidade a úmido (g/dtex)	4,0 a 7,0	4,5 a 7,0
Alongamento à ruptura seco (%)	20 a 40	20 a 40
Absorção de umidade (%)	4,5	4
Ponto de amolecimento	220	260
Ponto de fusão	187	210

Fonte: Adaptado de Guillén, 1991

Podemos notar que não há diferenças consideráveis entre as propriedades dinamométricas das poliamidas, dado que a resistência e o alongamento dessas fibras são função da estiragem mais do que a diferença do teor cristalino. (ALFIERI, 2009)

Possui elasticidade e resiliência elevadas, a maior em relação às fibras naturais e fibras químicas. Sendo que o filamento de PA 6.6 é mais rígido do que o filamento de PA 6 (KOSLOWSKI, 1998).

De acordo com Guillen (1990), as fibras de poliamida soltam a sujeira com facilidade e suportam temperaturas de fervura. A exposição ao sol deve ser evitada tendo em vista que estas fibras apresentam possibilidades de amarelamento nestas condições.

As poliamidas apresentam ótima tenacidade, elevada resistência à abrasão, elevada resistência aos agentes químicos sintéticos e naturais, baixo coeficiente de atrito, alto grau de tingimento, alta cristalinidade, baixa absorção de umidade, reduzido intumescimento, rápida secagem e grande poder de resistência contra insetos nocivos e ao apodrecimento (ARAÚJO; CASTRO, 1986).

2.6. Título do fio

O título de um fio expressa uma relação entre um determinado comprimento e a massa correspondente, é a densidade linear do material, usada para caracterizar a finura do mesmo. Existem vários sistemas de titulação, os principais são:

- a) Sistemas Diretos: quanto maior o valor do título do fio, mais grosso ele será:
 - TÍTULO DENIER (den): O título denier é igual ao peso em gramas de 9.000 metros de fio.
 - TÍTULO TEX (tex): O título tex de um fio representa o peso em gramas de 1.000 metros de material. Pertence ao sistema internacional de unidades.
 - TÍTULO DECITEX (dtex): O título dtex de um fio ou de qualquer outro material têxtil é igual ao peso em gramas de 10.000 metros de fio. É um submúltiplo do sistema tex e foi criado para substituir o título denier em fios e filamentos químicos como poliamida, poliéster, polipropileno, etc.
- b) Sistemas Indiretos: quanto maior o valor do título do fio, mais fino ele será:
 - TÍTULO INGLÊS (Ne). O título inglês de um fio têxtil é igual ao número de meadas de 840 jardas necessárias para obter o peso de uma libra. Usado em fios fiados de fibras curtas como o algodão.
 - TÍTULO MÉTRICO (Nm). Título métrico de um produto têxtil é igual ao número de metros necessários para ser obtido um peso de uma grama. É usado normalmente em fiação de fibras longas como lã e para linhas de costura.

2.7. Filamentos de um fio têxtil

Expressa a quantidade de filamentos que compõem cada cabo do fio. Os fios ditos “standard” tem um baixo número de filamentos e consequentemente um alto título individual dos filamentos. Na Figura 28 tem-se uma imagem ilustrativa, mostrando um fio têxtil que tem um título de 76 dtex com 30 filamentos, cada um deles com título individual de 2,5 dtex.

Figura 28: filamentos: fio standard

76 dtex f 30

30 filamentos
2,5 dtex por filamento

Fonte: Vasconcelos, 2010.

Quando um fio é composto por filamentos muito finos (menor que 1,2 dtex por filamento) este é chamado de “microfibra” conforme exemplificado na Figura 29, onde o mesmo título de fio de 76 dtex apresenta 72 filamentos, com títulos de 1,1 dtex cada, portanto bem mais finos e em maior quantidade.

Figura 29: filamentos microfibra

76 dtex f 72

72 filamentos
1,1 dtex por filamento

Fonte: Vasconcelos, 2010.

2.7.1. Tipos de fios de filamentos contínuos

- Fio de filamentos lisos:

O fio de filamentos lisos, também conhecido simplesmente por fio liso, apresenta seus filamentos paralelos e sem alterações na seção longitudinal dos mesmos, conforme mostrado na Figura 30:

Figura 30: Fio liso

Fonte: Vasconcelos, 2010

- Fio de filamentos texturizados:

A texturização pode aumentar o transporte de umidade de duas a quatro vezes mais em relação a qualquer fio sintético de filamentos lisos ou de fibras descontínuas. A primeira amostra dos fios texturizados foi lançada em 1931 por um técnico suíço chamado Kagi, que obteve uma amostra de viscose frisada, cujos direitos autorais foram patenteados pela Heberlein¹⁶ em 1932 (ALFIERI, 2013b).

Esse processo visava tornar o toque similar ao da lã em filamentos de viscose e acetato e foi aperfeiçoado com o surgimento das fibras sintéticas. Hoje é conhecido como processo convencional, clássico ou descontínuo usando retorcedeiras e a fixação por vaporização.

¹⁶ Heberlein & CO. AG

O fio de filamentos texturizados, também conhecido simplesmente por fio texturizado, apresenta seus filamentos propositadamente encrespados visando obter em relação ao fio liso maior volume, maior elasticidade e melhor toque. Sua configuração está mostrada na Figura 31:

Figura 31: Fio texturizado

Fonte: Vasconcelos, 2010.

- Fio de filamentos texturizados a ar:

A técnica de texturização a ar começou a ser desenvolvida em 1950, visando produzir com fios de filamentos, fios de aspecto e toque parecidos aos fios fiados de algodão. Com o passar do tempo e a evolução tecnológica, muitos outros tipos de produtos puderam ser feitos com essa técnica e hoje este processo é um dos mais versáteis e apreciados para atender tanto a requisitos de modo e estilo, como para atender aplicações técnicas e industriais. (ALFIERI, 2013b)

Segundo Alfieri (2013b), o processo consiste basicamente em submeter filamentos a um fluxo de ar que leva a um turbilhonamento destes filamentos e cria laços, loops, bouclets de pequenas dimensões e muito próximos, de modo que a olho nu e a certa distância tem-se a impressão de observar a textura de um fio fiado, que é formada pelas ondas da torção e pela pilosidade presente no fio.

O fio de filamentos texturizados a ar, também conhecido simplesmente por fio texturizado a ar, apresenta seus filamentos propositadamente emaranhados visando

obter um fio com aspecto similar aos fios de fibras naturais. Sua configuração está mostrada na Figura 32.

Figura 32: Fio Texturizado a ar

Fonte: Vasconcelos, 2010.

Cabe também salientar que, de acordo com Demir e Behery (1997), que os fios texturizados apresentam os pontos de entrelaçamento mais visíveis e marcados com emaranhamentos mais profundos do que os fios lisos. A Figura 33 ilustra o processo de obtenção de fios texturizados ao ar:

Figura 33: Esquema simplificado do processo de fabricação dos fios texturizados a ar

Fonte: Adaptado de Demir e Behery, 1997.

2.8. Microfibras

2.8.1. História das Microfibras

A fabricação de fios contínuos de poliéster com filamentos individuais mais finos iniciou-se na década de 70 no Japão. O título dos filamentos variava de 2,5 a 5,0 denier. Com a evolução das tecnologias dos processos de extrusão, fiação, estiragem e texturização dos filamentos sintéticos, aliada a melhora na qualidade dos polímeros, tornou-se possível a fabricação de fibras de títulos bem mais finos, chegando até 0,3 dtex (GUILLÉN, 2001).

Ficou estabelecido que o limite para uma fibra de poliéster ser considerada uma microfibra é que seu título seja menor do que 1,2 dtex.

Nas Tabelas 2 e 3 Guillén (2001), mostra o diâmetro médio de algumas fibras e microfibras e em seguida o título de fibras grossas até super microfibra:

Tabela 2: Diâmetro médio das fibras e microfibras

Fibra	Diâmetro (μm)
Poliéster (5,5 dtex)	22,7
Lã	170,0
Algodão	13,5
Seda	12,0
Poliéster fino (1,3 dtex)	11,1
Poliéster micro (0,4 dtex)	6,4
Poliéster ultra (0,1 dtex)	3,0
Poliéster super ultra (0,05 dtex)	2,1

Fonte: Adaptado de Guillén, 2001.

Tabela 3: Título dos filamentos

Fibra	Título (dtex)
Grossa	>7,0
Média	2,4 - 7,0
Fina	1,0 - 2,4
Microfibra	0,3 - 1,0
Super Microfibra	<0,3

Fonte: Adaptado de Guillén, 2001.

A Figura 34 mostra um comparativo do diâmetro de várias fibras, mostrando que a microfibra ultrapassou, em muito, a finura das fibras naturais:

Figura 34: Finura das Fibras

Fonte: Adaptado de Guillén, 2001.

2.8.2. Fabricação das Microfibras

Segundo Guillén (2001), os melhores métodos de fabricação das microfibras são o método convencional melhorado, a fiação de mistura de polímeros, fiação de fibras ultra conjugadas e fiação de fibras conjugadas separadas.

Na utilização do método convencional é necessário que o polímero tenha sido bem filtrado e que seja constituído de moléculas de tamanho grande, pois nesse método a fibra sofrerá uma estiragem que pode chegar a 40 vezes o seu tamanho inicial, obtendo-se microfibras de títulos inferiores a 0,5 denier de estrutura semi-cristalina.

2.8.3. Propriedades das Microfibras

Segundo Guillén (2001), a finura das microfibras é responsável por uma grande variação nas propriedades das fibras, fios e tecidos.

Alfieri (2013a), afirma que para obter a mesma intensidade de cor para fios de microfibra é necessário aumentar a concentração de corante no banho de tingimento, pois os fios feitos com microfibra possuem uma maior superfície específica e, portanto menor rendimento da cor. A Tabela 4 mostra um panorama geral das propriedades físicas de um fio de microfibra em comparação com um fio standard.

Tabela 4: Propriedades físicas dos fios de microfibra

Propriedade	Fio Standard		Fio de Microfibras	
	167f30	76f34	76f72	76f144
Título dos filamentos (dtex)	5,6	2,2	1,1	0,5
Diâmetro do filamento (µm)	23,0	14,6	10	7,1
Tenacidade do fio (cN/dtex)	4,2	4,1	3,8	3,8
Tenacidade dos filamentos (cN/dtex)	4,2	4,2	3,8	4
Elasticidade (%)	48,0	45	30	16
Rigidez relativa à flexão (fios)	100,0	36,3	17,3	0,9
Rigidez relativa à flexão (filamentos)	100,0	16	3,6	8,6

Fonte: Adaptado de Alfieri, 2013a.

A menor resistência dos fios de microfibras deve-se à menor resistência ao atrito, o que pode gerar maior formação de pilling. Fios de micro filamentos também apresentam maior tendência ao amarrotamento devido a maior flexibilidade da fibra, por outro lado, o menor diâmetro proporciona melhora no toque e no caimento.

De acordo com Alfieri (2013a), existe uma influência do título do filamento no módulo de elasticidade e no alongamento dos fios, sendo que os microfibramentos são mais sensíveis aos esforços físicos.

Segundo Guillén (2001), as microfibras têm menor porosidade, auxiliam no transporte e absorção de umidade, proporcionam maior isolamento térmica, maior impermeabilidade à água e ao vento, contribuindo assim, para uma maior sensação de conforto proporcionada ao usuário.

2.9. Malharia

Malharia é a arte de construir tecidos utilizando agulhas e entrelaçando os fios em diversas séries de laçadas (malhas) que se ligam umas às outras.

Araújo e Castro (1986), mencionam a importância da indústria das malhas, dentro do contexto da indústria têxtil, salientando que os tecidos de malhas ocupam lugar de destaque, por ter uma ampla gama de possibilidades de aplicação, como vestidos, blusas, casacos, pulôveres, camisetas, vestuário esportivo, lingerie, meias, etc. Este sucesso não é somente um produto da moda, mas é sobretudo devido às características dos tecidos de malha, particularmente à sua elasticidade, alongamento, textura e ao toque macio, bem como, o desenvolvimento tecnológico dos teares de malha.

2.9.1. História da Malharia

É impossível precisar exatamente a época do aparecimento dos tecidos de malha. Nas tumbas do Alto Egito foram encontrados um xale e um boné de malha de 2550 anos de idade, e no museu do Louvre de Paris estão expostos alguns "calções" de aproximadamente 1.000 anos A.C., provenientes das primeiras escavações de Champollion, no Egito.

O século XVI assinala o aparecimento das meias de malhas. Até então só se fabricavam casquetes, gorros, xales, cachecóis, etc. Até o mencionado século XVI, a tricotagem era feita manualmente, o que não é estranho, já que o fio neste tipo de tecido se entrelaça consigo mesmo de forma tão complicada que foi necessário um engenho sobressalente para se inventar uma máquina para realizar esse tipo de trabalho.

2.9.2. Tipos de Tecido de Malha

Dentro da indústria da malharia existem dois processos distintos que formam estruturas de malhas diferentes, sendo eles a malharia de urdume e a malharia de trama, cujas diferenças podem ser observadas na Figura 35.

Figura 35: Malha de urdume e malha de trama

Fonte: Vasconcelos, 2009.

Os dois processos podem ser esquematicamente representados nas Figuras 36 e 37:

Figura 36: Esquema de formação da malha por urdume

Malharia de urdume

Fonte: Adaptado de Spencer, 2001.

Figura 37: Esquema de formação da malha de Trama

Malharia de trama

Fonte: Adaptado de Spencer, 2001.

Os dois tipos de malharia, de trama e de urdume, ainda possuem subdivisões conforme mostrado no fluxograma da Figura 38:

Figura 38: Subdivisões da malharia

Fonte: Vasconcelos, 2009.

A malha de trama circular subdivide-se em:

- Máquinas de pequeno diâmetro (meias), de 3 a 4 polegadas;
- Máquinas de médio diâmetro (seamless – sem costura), de 11 a 16 polegadas;
- Máquina de grande diâmetro (tecido em peça), de 16 a 38 polegadas.

2.8.3. Malharia de Trama

Segundo Vasconcelos (2009), os artigos produzidos em malha de trama são obtidos a partir de fios que fazem evoluções em diversas agulhas formando laçadas que irão se entrelaçar com laçadas da carreira seguinte. Essas laçadas (ou malhas) de formato senoidal sustentam-se entre si e são livres para se mover umas sobre as outras quando submetidas à tensão, seja no sentido da largura, seja no sentido do comprimento do artigo.

Devido a esse processo de formação, os tecidos possuem as seguintes características:

- Alongamento (flexibilidade, capacidade de modelagem):

Muito grande. As malhas se adaptam às formas do corpo humano e acompanham seus movimentos, pois como o entrelaçamento das malhas não tem ponto de ligação firme, as laçadas podem deslizar umas sobre as outras. Assim as ondulações das laçadas permitem que o artigo de malha abrace formas complexas.

- Elasticidade ou Recuperação Elástica:

Quando a malha é tencionada ela assume dimensão diferente daquela em repouso, e quando esta ação cessa, a malha recupera parcialmente a sua forma inicial. A Elasticidade da Malha depende da sua estrutura (forma e disposição) e do tipo de fio utilizado. Fios com propriedades elásticas como os fios texturizados e principalmente, fios elastoméricos permitem melhorar substancialmente essa característica.

- Deformação:

Os tecidos de malha tendem a se deformar com mais facilidade que os tecidos planos devido à sua flexibilidade. Quanto mais flexível for a estrutura da malha maior será sua tendência à deformação.

- Estabilidade Dimensional:

Os artigos de malha apresentam maior tendência de alterar as suas dimensões durante o uso, pois exigem mais cuidados no seu acabamento final. Para evitar esse inconveniente, principalmente nas malhas produzidas com fibras naturais e artificiais, é necessário respeitar o formato de equilíbrio da malha. Quando isso não acontece, após o uso e lavagem, a laçada assumirá essa posição, alterando as dimensões do tecido. A utilização de fios sintéticos de características termoplásticas permite minimizar esse efeito.

- Porosidade e volume:

Pelos contornos das laçadas e da espessura da malha, o tricô é mais poroso e mais volumoso que o tecido plano, permitindo construir artigos com bom conforto termo fisiológico.

Em temperaturas elevadas a transpiração é facilitada, permitindo evaporação da transpiração através dos espaços existentes no artigo. Em temperaturas baixas combina-se porosidade ao aspecto volumoso com que são construídos os produtos de inverno, formando dentro do artigo um colchão de ar que atua como isolante térmico, dificultando a perda de calor do corpo para o meio ambiente.

A laçada é o elemento fundamental de um tecido de malha e é constituído pelas partes mostradas na Figura 39:

Figura 39: Malha Unitária

Fonte: Cestare, 2013.

De acordo com Cestare (2013), o tricô resulta do entrelaçamento dessas malhas. Cada malha tem dois pares de pontos de entrelaçamento, sendo dois inferiores e dois superiores. Na parte inferior teremos os pés da malha passando pela cabeça da malha anterior e na parte superior teremos a cabeça passando pelos pés da malha seguinte.

- Possibilidades de Tricotagem

As agulhas podem ser programadas para produzirem malha, fang ou não trabalharem, conforme Figura 40. Quando uma agulha não trabalha, o seu fio flutuará e a malha anterior se alongará para ocupar o seu espaço. Quando uma agulha é programada para fang, ocorrerá uma retenção desse fio (não flutuará) e a malha anterior também ocupará esse espaço.

Figura 40: Possibilidades de tricotagem

Fonte: Cestare, 2013

2.8.4. Malha de Trama Circular

Figura 41: Máquina de Malharia de trama Circular

Fonte: Vasconcelos, 2009.

Segundo Cestare (2010), A malharia de trama circular é a principal de todas, é usada para produzir tecidos de malha com diversos tipos de ligamentos, cores, fios e fibras e possui alta capacidade para grandes produções. O tecido é formado através de fios que se entrelaçam pelos movimentos de agulhas, podendo ser entrelaçado de diversas formas, produzindo diversos tipos de ligamento, seu princípio vem da malharia retilínea, porém apresenta maior capacidade de produção. As ligações básicas são a meia-malha (Jersey), o Piquet, o moletom e o rib. A máquina pode ser monofrontura ou duplafrontura sua aparência pode ser vista na Figura 41.

As máquinas monofrontura são providas de uma só série de agulhas, colocadas verticalmente nos canais de uma frontura cilíndrica, enquanto as máquinas de dupla frontura tem duas séries de agulha, a primeira colocada na frontura cilíndrica (cilindro) enquanto a

segunda é colocada horizontalmente nos canais radiais de um disco colocado perpendicularmente ao cilindro.

2.8.5. Máquina Dupla Frontura

Figura 42: Sistema de formação de malha da máquina dupla frontura

Fonte: Adaptado de Cestare, 2010.

As agulhas do disco e do cilindro, conforme vistas na Figura 42, podem assumir duas posições relativas: disposição defasada e disposição frente a frente. Essa regulação pode ser chamada também de Centralização da Máquina ou Cruzamento das Agulhas.

2.8.6. Disposições das agulhas

A disposição defasada é quando as agulhas do disco ficam no ponto intermediário entre as agulhas do cilindro (no passo) e vice-versa. Essa disposição é também chamada de Rib, e um sistema pode produzir uma carreira completa, tanto no cilindro como no disco, pois todas as agulhas podem ser selecionadas para trabalharem.

A disposição Interlock é quando as agulhas de uma frontura estão frente a frente com as agulhas da frontura oposta, conforme Figura 43. Para produzir uma carreira completa, tanto

no cilindro como no disco, necessita-se de no mínimo dois sistemas, pois não pode-se trabalhar com todas as agulhas das duas fronturas simultaneamente porque elas se chocariam.

Figura 43: Disposição Interlock

Fonte: Adaptado de Cestare, 2010.

Portanto, essas máquinas necessitam de dois tipos de agulhas: curtas (K) e longas (L), tanto para o disco como para o cilindro. Todos os comandos são independentes, permitindo a programação de um tipo de agulha no primeiro sistema e outro no segundo. A regulagem do ponto também é independente para cada tipo de agulha. Nessa disposição é obrigatória a distribuição de agulhas longas (L) na frente das curtas (K), e vice-versa, pois isso irá facilitar a programação da máquina (CESTARE, 2010). A programação usando agulhas longas e curtas pode ser vista na Figura 44:

Figura 44: Distribuição das agulhas para disposição frente a frente

														L K
														K L
														Disco Cilindro

Fonte: Cestare, 2010.

2.9. Funcionalidade dos tecidos

Tecido funcional pode ser entendido como aquele que busca a facilidade, utilidade e comodidade de seu usuário, adquirindo novas funcionalidades que não tinha inicialmente, como antibacteriana, descarregar a eletricidade estática ou materiais com memória permanente, entre outras possibilidades.

De acordo com Martin (2010), para os consumidores, a roupa que se veste no dia a dia é um reflexo da personalidade de cada um, isto é, uma pessoa usa um tipo de roupa, e não outro, porque tem uma determinada maneira de ser e de pensar. Na atualidade, especialmente as pessoas jovens e de idade média preferem vestir roupas mais informais, que sejam cômodas de usar e fácil de manter. Estes fatores são, inclusive, mais importantes do que usar a última moda.

No entanto produtos que visam atividades esportivas necessitam atender requisitos de conforto e performance que, muitas vezes, se sobrepõem à moda e aos aspectos psicológicos do consumidor comum (VASCONCELOS et al., 2013).

Segundo Shishoo (2005), o *design* de artigos esportivos pode ser classificado conforme o esquema apresentado na Figura 45 a seguir.

Figura 45: Design do vestuário esportivo

Fonte: Shishoo, 2005.

Dessa forma, sobretudo quando tratamos de artigos esportivos, a gestão das funcionalidades da indumentária é cada vez mais importante, devendo-se buscar tecidos e estruturas que busquem aprimorar essas características.

2.10. Conforto

De acordo com Dhinakaran; Sundaresan; Dasaradan (2008), o termo conforto é definido como "a ausência de desconforto" ou "um estado neutro em relação ao estado mais ativo do prazer". Há um consenso geral de que o movimento de calor e vapor de água através de uma peça de vestuário seja provavelmente o fator mais importante para o conforto proporcionado pelas roupas. Um equilíbrio térmico satisfatório é identificado como o mais importante critério único de conforto.

Segundo Bartels (2005), o conforto têxtil apoia-se em três eixos: elasticidade, regulação térmica e toque. No que concerne ao conforto térmico, é importante que os tecidos isolem termicamente do frio ou do calor, e que permitam ao corpo transpirar adequadamente.

O conforto do vestuário envolve uma combinação de fatores subjetivos e propriedades físicas e químicas. As propriedades de tecido que afetam o conforto térmico incluem a permeabilidade ao calor, água e ar, espessura condutividade térmica, peso etc (NAYAK et al., 2007).

Ainda de acordo com Nayak et al. (2007), as exigências que dizem respeito à capacidade de gestão da temperatura e da umidade de uma roupa serão diferentes segundo o grau de atividade física que venha a ser realizada e de acordo com as condições ambientais.

Além da temperatura e da umidade, existem outros fatores que também influem no conforto, como a elasticidade do tecido e a facilidade para a eliminação das cargas eletrostáticas acumuladas. Outros são mais difíceis de avaliar, como o toque, o caimento do tecido, etc. Na apreciação destas últimas propriedades, existe um alto componente de subjetividade. Finalmente, os fatores psicológicos indicam que o conforto é uma sensação muito relacionada com o estado de ânimo de cada pessoa e que dependerá, de certo modo, da forma de pensar, sentir e avaliar as emoções.

Segundo Martin (2010), o corpo humano está adaptado para operar em pequenas margens de temperatura e não funciona bem quando esta é muito alta ou muito baixa. No entanto, pequenas flutuações de temperatura no interior do corpo podem causar desconforto. Os avanços nos isolamentos térmicos dos tecidos diminuem essas flutuações. Antigamente, o isolamento térmico se associava com o volume de roupa, hoje em dia, os sistemas de camadas deram origem a roupas multifuncionais leves e elegantes, sem sacrificar nenhuma propriedade.

A origem e o desenvolvimento das novas tecnologias começaram com tecidos militares e esportivos. Em ambos os casos, as fibras naturais eram inicialmente cômodas para se usar, mas logo em seguida percebeu-se que elas podiam absorver muita umidade, porém sua secagem ocorria de forma muito lenta. Sendo assim, o desenvolvimento de roupas a partir de fibras adequadas para a prática de exercícios originou-se do desejo que roupas que fossem capazes de manter uma temperatura confortável e que, permanecessem secas em diferentes condições climáticas e em vários níveis de intensidades das atividades físicas (RAJ, 2001).

As propriedades de um tecido são determinadas em parte a partir das propriedades das fibras das quais ele é feito. O conforto proporcionado por uma roupa depende das propriedades de transferência de calor e de gerenciamento de umidade das fibras que constituem o tecido do qual ela foi confeccionada. No entanto, vários outros fatores são importantes na dissipação de calor e umidade, tais como a geometria e densidade das fibras, a estrutura dos fios e tecidos e os tratamentos e acabamentos aplicados durante a fabricação da roupa (VASCONCELOS F. G. e VASCONCELOS F. B., 2014).

Segundo Cabeço Silva, M.; Broega; Cabeço Silva, A. (2011), quando se pretende projetar um tecido com o objetivo de proporcionar conforto, e portanto, com características bem definidas, é importante que se conheçam os parâmetros que vão lhe conferir essas propriedades, como a estrutura, contextura, título dos fios, entre outras.

2.10.1. Principais propriedades dos têxteis ligadas ao conforto

A A.S.T.M. define “Regain” como a umidade presente em um determinado material sob condições pré-estabelecidas e expresso como uma porcentagem, em massa, em relação à amostra sem água (percentual de água absorvida sob condições padronizadas $65\pm 2\%$ de umidade relativa do ar e $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ – em relação a sua massa seca”). Já a absorção de umidade é a água absorvida sem levar em consideração condições padronizadas.

É possível, de forma simplificada, afirmar que “regain” é o percentual de água que o material absorve em relação à sua massa seca em condições controladas de umidade e temperatura (AGUIAR NETO, 2005). A Figura 46 mostra a porcentagem de Regain das principais fibras têxteis, enquanto a Figura 47 mostra a porcentagem de retenção de líquido.

Figura 46: Porcentagem de regain das principais fibras têxteis.

Fonte: Adaptado de VASCONCELOS, 2005.

Figura 47: Porcentagem de retenção de líquido das principais fibras têxteis.

Fonte: Adaptado de VASCONCELOS, 2005.

Uma propriedade importante de um tecido quanto à característica térmica é a sensação de “frio” ou “quente” ao toque. Esta característica é significativamente influenciada pela estrutura da superfície do tecido.

De acordo com Borelli et al. (2013), no instante de se vestir um artigo, normalmente a temperatura do tecido é inferior à do corpo, havendo, portanto, uma transferência momentânea de calor, até que as temperaturas das superfícies em contato se equilibrem. Quanto mais rápido for este processo maior a sensação instantânea de frio. Denominada de “absorção térmica”, esta propriedade é definida como a quantidade de calor absorvida pelo tecido, num determinado decurso de tempo, quando sua superfície entra em contato com outra de temperatura mais elevada. A Figura 48 mostra um comparativo de condutividade térmica das principais fibras têxteis em relação ao ar, imaginando que o isolamento térmico do ar seja 1.

Figura 48: Condutividade térmica das fibras em comparação com o ar.

Fonte: Adaptado de VASCONCELOS, 2005.

O processo de fiação, responsável pela produção de fios, varia de acordo com as características da fibra utilizada e do tipo de fio que se almeja obter. No caso do poliéster e da poliamida, os fios podem ser compostos por fibras cortadas, dando origem a fios fiados, por multifilamentos contínuos, podendo ser lisos ou texturizados por falsa torção, ou texturizados ao ar.

O arranjo de fibras em um fio e em um tecido afeta o tamanho e a geometria dos espaços capilares entre as fibras, e, conseqüentemente, a taxa de absorção de líquido. A aleatoriedade no arranjo das fibras num fio influencia consideravelmente a quantidade de líquido absorvida e o seu transporte através do tecido. (RENGASAMY, 2006). A Figura 49 mostra os diferentes tipos de fios utilizados na fabricação de tecidos.

Figura 49: Tipos de fios

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2015

Para um título resultante fixo, o número de filamentos que compõem um fio é proporcionalmente maior à medida que os títulos individuais destes filamentos diminuem. A maior densidade de multifilamentos na seção do fio, principalmente quando se apresentam como microfibras, resulta no aumento do número de espaços vazios formados entre estas microfibras, também denominado de microporosidade. A Figura 50 mostra para um mesmo título a diferença de um fio standard para um fio de microfibra.

Figura 50: Comparação entre filamentos standard e microfibras em fios de mesmo título

Fonte: VASCONCELOS, 2005.

As fibras mais finas e as microfibras de poliéster criam através da microporosidade dos fios no artigo um efeito capilar, que transfere o suor para o externo de maneira mais rápida, reduzindo consideravelmente a sensação de desconforto (SCOTT, 2010). Além do transporte maior e mais rápido de umidade, a microporosidade permite um maior isolamento térmico e uma maior permeabilidade à água e ao ar.

Além disso, seções transversais especiais podem proporcionar aos tecidos construídos a partir dessas fibras, características como isolamento térmico ou facilitação do transporte de umidade. No entanto, segundo VASCONCELOS et al. (2015), quando se trabalha com fios de filamentos principalmente microfibras é necessário ter mais cuidado com as variações de tensão durante sua produção na máquina de malharia circular. A Figura 51 mostra algumas seções transversais de fibras que facilitam o transporte de umidade e o isolamento térmico.

Figura 51: Seções transversais das fibras e suas propriedades

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2015

Um tecido é produzido pelo entrelaçamento de fios e dependendo do fator de cobertura (FC), estes fios ficam mais ou menos espaçados. De acordo com Wardiningsih e Troynikov (2012), à medida que o fator de cobertura aumenta, o tempo para molhar o tecido também aumenta, mas o raio máximo umedecido diminui. Isso significa que, o aumento no FC faz com que o líquido leve mais tempo para molhar um tecido de estrutura mais fechada, e que, com este aumento, a umidade se espalhe em um menor raio num dado tempo de teste.

Os espaços dentro da estrutura do tecido são responsáveis pelo fluxo de líquido através de um material, e o tamanho e a conectividade dos poros no tecido influenciam a velocidade e a quantidade de líquido que é transportado através do material (RENGASAMY, 2006).

Estes espaços interferem na tensão superficial do tecido. Quanto maiores ou mais frequentes os espaços, haverá uma tendência de o líquido mover-se através deles. Porém deve-se ressaltar que a tensão superficial depende, em grande parte, da estrutura química das fibras, aumentando no caso das fibras hidrófilas e diminuindo no caso das hidrófobas.

Tecidos de malha possuem superfícies relativamente irregulares, o que proporciona mais conforto do que os tecidos planos de superfície mais regular. Este efeito resulta do fato de o tecido que tem superfícies irregulares tem menos contato direto com a pele. (HIGGINS; ANAND, 2003).

Segundo Vasconcelos et al., (2013), um tecido plano apresenta estrutura mais rígida, lisa, fechada e impermeável, dificultando a passagem de líquidos em comparação com um tecido de malha de trama que tem estrutura mais aberta, permeável, flexível e mais elástica, e o tecido de malha por urdume está situado entre os dois extremos. A diferenças estruturais dos tecidos plano, malha de urdume e malha de trama podem ser vistas na Figura 52.

Figura 52: Diferentes tipos de construção de tecido

Fonte: VASCONCELOS, 2005.

Comparadas aos tecidos planos, as malhas possibilitam maior elasticidade e ajustamento ao corpo e proporcionam a liberdade de movimentos adequada à ergonomia do ser humano (FILGUEIRAS; FANGUEIRO; RAPHAELLI, 2008).

Outros fatores que devem ser considerados são a espessura do tecido, a quantidade de camadas e a proximidade do tecido com o corpo, normalmente, quanto menor a espessura e quanto mais próxima a roupa estiver do corpo, maior será o fluxo de calor ou vapor transportado pelo tecido, conforme ilustrado nas Figuras 53 e 54.

Figura 53: Espessura dos tecidos

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2015

Figura 54: Número de camadas do tecido

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2015

Segundo Wilbik-Hałgas et al. (2006), uma típica construção de dupla camada de tecidos de malha para melhorar a capacidade de gerenciamento de umidade inclui uma camada de tecido de malha feita de fios condutores e de boa difusão, que é colocada diretamente ao corpo, cuja função é a de remover e transportar a umidade do corpo em forma de líquido e vapor e uma segunda camada de tecido de malha feita de fios que absorvem o líquido que não está em contato direto com a pele, o papel desta segunda camada é o de manter a umidade longe do corpo e vaporizá-la para o meio ambiente.

O nível final da absorção térmica não depende apenas da estrutura e da composição química dos tecidos, mas dos acabamentos aplicados, acabamentos, que por vezes, provocam maiores alterações na sensação térmica de contato do que os efeitos derivados da composição e estrutura dos tecidos (LUBOS, 2000).

A aplicação de amaciantes hidrofílicos em tecidos construídos a partir de fibras hidrófobas proporciona um comportamento no qual o tecido absorve o líquido rapidamente o qual também se espalha rapidamente sobre superfícies grandes dos dois lados, ou seja, por todo o tecido. Isto ocorre pois o amaciante facilita a difusão do líquido sobre a superfície dos filamentos que compõem o tecido (VASCONCELOS, F. G.; VASCONCELOS, F. B.; WATANABE, 2013).

O poliéster é a fibra mais comum utilizada na fabricação de artigos com amaciantes hidrofílicos. Quando as fibras de poliéster são utilizadas em contato com a pele elas recebem um tratamento que melhora sua capacidade de gerenciar a umidade. Isso ocorre através da aplicação de um revestimento hidrofílico nos filamentos de poliéster, fazendo com que o núcleo da fibra permaneça hidrófobo permitindo que a umidade migre ao longo da superfície externa dos filamentos sem ser absorvida por eles. Infelizmente esse tipo de tratamento não tem boa resistência às lavagens. Um método alternativo é alterar a química da superfície do filamento de poliéster em si. É um processo mais caro, mas que tem a vantagem de ser permanente (HU, 2005).

Ibrahim et al. (2010), afirmam que o tipo de fibra, título dos fios, torção, estrutura do tecido, os processos de pré-tratamento, de coloração e de acabamento tem influência não só sobre as propriedades mecânicas, físicas e químicas dos substratos tratados, mas também sobre as suas propriedades de conforto.

2.11. Suor

De acordo com Wilbik-Haľgas et al. (2006), Na percepção do conforto existe a intervenção de aspectos fisiológicos, físicos e psicológicos, que tem algo a ver com os mecanismos de regulação térmica do corpo humano e com o papel que desempenha a roupa nessa regulação, pois modifica as respostas termorregulatórias humanas. Porém, além de uma boa gestão da temperatura, a roupa, na medida do possível, deve ser capaz de realizar uma boa gestão da umidade, isto é, do suor.

Segundo Martim (2010), o suor é um líquido produzido pelas glândulas sudoríparas, que se encontram na pele. Existem cerca de dois milhões de glândulas sudoríparas espalhadas pelo corpo humano e grande parte delas localiza-se na fronte, nas axilas, na palma das mãos e na planta dos pés.

O suor contém principalmente água, além de outras substâncias como uréia, ácido úrico e cloreto de sódio. As substâncias contidas no suor são retiradas do sangue pelas glândulas sudoríparas. Através do duto sudoríparo elas chegam até a superfície da pele, saindo pelos poros. Eliminando o suor, a atividade das glândulas sudoríparas contribui para a manutenção da temperatura do corpo (MARTIM, 2010). Na Figura 55 é possível observar os pontos de maior aquecimento do corpo humano, sendo que as regiões vermelhas são as mais quentes e as azuis as mais frias.

Figura 55: Pontos de superaquecimento e maior transpiração do corpo humano

Fonte: www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/dilatacao-dos-liquidos-solidos-e-gases/termometro-4.php

O homem é um animal homeotérmico, isto é, mantém a temperatura do corpo praticamente constante, ao redor de 36,5°C. Quando praticamos algum exercício físico, a

grande atividade muscular produz muito calor e a temperatura do corpo tende a aumentar, então o suor é eliminado. A água contida no suor se evapora na pele, provocando uma redução na temperatura do ar que a circunda. Isso favorece as perdas de calor do corpo para o ambiente, fato que contribui para a manutenção da temperatura do nosso corpo. A gestão da umidade consiste na capacidade de uma roupa para transportar o suor desde a pele e dispersá-lo no ambiente, de tal modo que a pele e a roupa permaneçam secas, enquanto o corpo humano realiza um exercício físico. O comportamento ideal de gestão da umidade está ilustrado na Figura 56.

Figura 56: Representação esquemática da evaporação do suor na pele

Fonte: Martin, 2010

2.12. Gestão da umidade

Tecidos com gestão de umidade, que foram projetados para transferir o suor líquido para longe da pele de forma eficiente para uma secagem rápida, são desenvolvidos para aumentar o conforto do usuário e reduzir o estresse gerado pela sensação de calor (ZHOU et al., 2007). Se a umidade não se evapora pela pele, os poros do tecido se enchem de líquido, que substitui o ar, diminuindo a capacidade de isolamento. Os nervos sensores da pele detectam essa umidade produzindo no inverno rigidez, no verão tato pegajoso e, em ambos os casos, desconforto.

O Transporte de umidade em tecidos é um dos fatores críticos que afetam o conforto fisiológico. Tecidos que rapidamente transportam a umidade para fora da superfície da pele proporcionam uma maior sensação de conforto ao manter a pele seca (BENLTOUFA; FAYALA; BENNASRALLAH, 2008). A gestão da umidade consiste na capacidade dos

tecidos de transportar a umidade da pele até a superfície externa da roupa e dispersá-la pelo ambiente, de modo que a pele e a peça de roupa permaneçam secas durante seu uso. Uma boa gestão da umidade é de grande importância para a regulação da temperatura corporal (termorregulação).

Raj, (2001) afirma que o primeiro tecido com a propriedade de gerenciar a umidade foi o Thermolactyl^{®17}, da Damart¹⁸, lançado em 1953 como a “fibra mágica”. Em 1986, a DuPont¹⁹ introduziu o CoolMax^{®20}, uma das referências nesse mercado. Não há dúvidas de que o controle da umidade nas roupas esteja muito relacionado com o conforto, físico e psicológico, e que é cada vez mais valorizado pelo consumidor que está disposto a pagar mais por artigos que proporcionam maior conforto.

De acordo com Benltoufa; Fayala; BenNasrallah (2008), em condições nas quais o usuário produz muito suor (por exemplo, atividade física, de alto nível), não é desejável somente que o tecido absorva o líquido rapidamente, mas também que o transporte através do de sua estrutura imediatamente para evitar o desconforto. O conforto proporcionado nos tecidos pode ser melhorado através da compreensão do mecanismo de transporte do líquido.

De acordo com Shishoo (2005), nas estruturas têxteis, os capilares entre fibras são os responsáveis por transportar a umidade. A ação capilar depende do diâmetro e da energia superficial. Esta última pode ser modificada de acordo com o acabamento do artigo. Quanto menor o diâmetro dos capilares, maior é seu número, ou quanto maior for a energia superficial, maior é a tendência de um líquido se mover através dos capilares.

Analisando a estrutura de tecido representada na Figura 57, é possível observar duas escalas de capilaridade:

- Macroporos: vácuos entre os fios na estrutura do tecido,
- Microporos: vácuos entre as fibras dentro do fio.

¹⁷ Thermolactyl[®] é marca registrada da Damart Co. Ltd.

¹⁸ Damart Co. Ltd.

¹⁹ DuPont S/A

²⁰ CoolMax é marca registrada da Invista S/A

Figura 57: Macroporos e Microporos

Fonte: Benltoufa; Fayala; BenNasrallah, 2008.

Ainda segundo Shishoo (2005), as fibras que absorvem pouca umidade e a eliminam mais rapidamente, como o poliéster, regulam melhor a temperatura do corpo, melhoram a atuação dos músculos e retardam o cansaço. Quanto menor o seu diâmetro melhor para a absorção, porque é maior a densidade de compactação e há um aumento no número de capilares. Outros fatores que também influenciam são a estrutura do tecido e a espessura do material.

A gestão da umidade pode ainda ser combinada com outras propriedades, tais como anti-chamas, resistência ao vento e a água, etc., sendo incrementados os benefícios dos tecidos transpiráveis. Para roupas esportivas são utilizados principalmente tecidos leves em contato com a pele, que devem eliminar o suor e secar rapidamente e com acabamentos antimicrobianos, entre outros (BARTELS, 2005).

2.13. Tecnologias

2.13.1. CoolMax^{®21}

Entre as marcas comerciais mais conhecidas está o CoolMax^{®21}, da Invista²², que é um tecido hidrofílico e leve, feito de fibras de poliéster com 4 ou 6 canais, que podem ser visualizados na Figura 58, e uma seção transversal especial, que aumenta a absorção da umidade e a empurra para fora da pele. Segundo seu fabricante, as fibras CoolMax^{®21} com

²¹ CoolMax[®] é marca registrada da Invista S/A

²² Invista S/A

propriedades de gestão da umidade garantem a sensação de frescor e de estar seco em qualquer situação.

Figura 58: Fibra de CoolMax®, com quatro canais (esquerda) e com seis canais (direita)

Fonte: Martin, 2010

Neste produto a funcionalidade do tecido é permanente com relação a sua transpirabilidade, devido ao formato ondulado das fibras que a compõem.

Minerais naturais, como dióxido de titânio, dióxido de silício, e óxido de alumínio são moídos em um pó mais fino que um micron. O pó mineral é fundido com poliéster para a formação dos filamentos que formam os tecidos com essa tecnologia, que pode ser visto na Figura 59.

Figura 59: Minerais nas fibras de CoolMax®

Fonte: Adaptado de <http://www.adidasgolf.com/innovation/prove-it-apparel>

2.13.2. Adidas®²³

Adidas®²³ de propriedade da empresa alemã Adidas-Salomon AG, oferece tecnologia inovadora com a gama Clima de tecidos para a prática esportiva, entre eles: as mais utilizadas em camisetas são para transporte de umidade ClimaCool® e ClimaLite®, e também ClimaWarm® e ClimaProof®²⁴ para outras aplicações esportivas.

A tecnologia melhora o desempenho dos tecidos que são formulados para aumentar a absorção de oxigênio na pele por uma média de 7%. Mais oxigênio resulta em energia reforçada. E mais energia significa melhor desempenho. (MARTIN, 2010)

ClimaCool®²⁵, que são camisetas de performance extrema com tecido de malha de ventilação específica em zonas de calor crítico para ajudar a manter o tecido fresco e seco nas regiões onde há mais suor, isso aumenta a respirabilidade e diminui o desconforto associado à umidade devido ao superaquecimento, além disso, as camisas oferecem proteção UV e propriedades anti-odor e de prevenção microbial. Então, basicamente, a tecnologia funciona usando uma combinação de malha aberta e canais de ventilação para manter o ar fresco fluindo no tecido e gerenciando o fluxo de suor para fora. Uma representação desse comportamento pode ser vista na Figura 60.

Figura 60: Tecnologia ClimaCool®

Fonte: Adaptado de <http://www.adidasgolf.com/innovation/prove-it-appare>

²³ Adidas é marca registrada da Adidas-Salomon AG

²⁴ Marcas registradas da Adidas-Salomon AG

²⁵ ClimaCool® é marca registrada da Adidas-Salomon AG

ClimaLite^{®26} são camisetas que mantêm a umidade longe da pele enviando-a para a superfície do tecido permitindo que o tecido fique seco e que haja a sensação de conforto. A tecnologia ClimaLite^{®26} fornece gerenciamento de umidade essencial e otimiza o desempenho, minimizando a perda de superaquecimento e energia. Camisas ClimaLite^{®26} também tem recurso de proteção UV e propriedade de prevenção do odor e anti-microbianas. O ClimaLite^{®26} é um produto mais básico, podendo ser definida como uma camiseta de alto desempenho, porém de uso mais genérico, diário.

2.13.3. Nike²⁷

Nike²⁷ é uma empresa global com sede em Oregon, EUA. Em 2001, teve um volume de negócios de mil milhões de euros EUA US \$ 100 e 22.000 funcionários em todo o mundo. Cerca de metade dos seus empregados estão nos EUA, assim como a metade de seu volume de negócios.

A Nike²⁷ desenvolveu uma série de tecnologias para peças de vestuário para otimizar o conforto termo fisiológico (Figura 61). Os tecidos Nike²⁷ Dri-FIT^{®28} (Figura 62), são parte de um grupo de tecidos FIT desenvolvidos pela Nike²⁷, onde cada um exerce uma função específica. FIT é abreviação de "Tecnologia Inovadora Funcional". Dri-FIT^{®28} é leve e respirável para a dissipação de suor reforçada, Therma-FIT^{®29} são tecidos que retêm o calor, Clima-FIT^{®30} são tecidos que resistem à chuva e outros elementos, e Tempestade-FIT^{®31} repele vento, chuva e neve (Figura 61).

A tecnologia de gerenciamento da umidade age movendo a transpiração da pele para o exterior do tecido de rápida evaporação. Como a umidade é produzida pelo corpo, ela se move através da camada hidrofóbica de tecido, que atua como uma bomba para movimentar a umidade na superfície externa. O tecido sintético é leve, respirável e confortável. São geralmente feitos de misturas de elastano, poliéster e poliamida e comumente são usados em

²⁶ ClimaLite[®] é marca registrada da Adidas-Salomon AG

²⁷ Nike Inc.

²⁸ Dry-FIT[®] é marca registrada da Nike Inc.

²⁹ Therma-FIT[®] é marca registrada da Nike Inc.

³⁰ Clima-FIT[®] é marca registrada da Nike Inc.

³¹ Tempestade-FIT[®] é marca registrada da Nike Inc.

esportes onde há suor por longos períodos de tempo e deseja-se que a pele permaneça seca, tais como corrida de longa distância, tênis e golfe.

Figura 61: Tecnologias FIT

Fonte: Adaptado de www.nike.com

Figura 62: Tecnologia Nike Dri-FIT®

Fonte: <http://www.direct-golf.co.uk/nikeshop/r449.aspx>

2.13.4. Decathlon³²

A Decathlon³² desenvolveu a linha Equarea^{®33} de têxteis técnicos que atuam para evacuar ativamente a transpiração do corpo durante a prática esportiva. As equipes de desenvolvimento Equarea^{®33} estão instaladas no norte da França e nos países de produção. A marca emprega cerca de 100 pessoas. Esta equipe internacional é composta por especialistas, engenheiros têxteis, engenheiros de produto, os compradores, responsável pela fiscalização e a supervisão da produção dos cadernos de encargos para garantir uma qualidade.

Tem absorção imediata na parte interna dos tecidos, evacuação instantânea do suor para o exterior do tecido e secagem rápida. Ao utilizar os tecidos Equarea^{®33} permanece a sensação de frescor independentemente da quantidade de suor produzida na prática esportiva, esse comportamento está representado na Figura 63. No verão e no inverno o corpo não transpira da mesma forma e é a razão pela qual a Decathlon³² propõe tecidos Equarea^{®33} diferentes para as diferentes estações do ano.

Figura 63: Tecnologia Equarea®, da Decathlon.

Fonte: <http://www.equarea.com/ES>

³² Decathlon S/A

³³ Equarea[®] é marca registrada da Decathlon S/A

2.14. Moisture Management Tester (MMT)

A medida da gestão de umidade nos tecidos é complexa e sempre foi feita através de métodos indiretos. O Moisture Management Tester (MMT) foi desenvolvido a fim de reproduzir a difusão do suor gerado pelo corpo humano e seu comportamento. É um método que visa testar a capacidade de gerenciamento de umidade de têxteis, como tecidos de malha e tecidos planos de forma dinâmica substituindo os demais métodos.

No Brasil não foram encontrados muitos estudos utilizando essa metodologia que tem como objetivo medir e registrar o comportamento do transporte de umidade nas duas faces dos tecidos e malhas.

Quando há transporte de umidade em um tecido a resistência de contato elétrico muda e essa mudança depende de dois fatores: os componentes da água e o teor de água no tecido. No MMT a influência dos componentes da água é fixa, portanto a resistência elétrica depende somente ao teor de água no tecido.

Figura 64: Esquema de funcionamento do Moisture Management Tester

Fonte: Adaptado de Borelli, 2013.

Na Figura 64 é possível visualizar o esquema de funcionamento do MMT, o equipamento possui dois sensores sendo um superior e um inferior e cada um deles com sete pinos concêntricos. A amostra a ser testada será colocada entre os dois sensores. A superfície superior do tecido (top surface) estará na direção do sensor superior e simula o comportamento do lado do tecido em contato com a pele. A superfície inferior estará na direção do sensor inferior e simula o comportamento do lado externo do tecido em contato com o ar externo.

O princípio da metodologia está em medir a mudança de condutividade elétrica através do contato com o tecido, essa medição é realizada durante o transporte de umidade entre as duas superfícies interna e externa dos tecidos.

Uma quantidade pré-determinada de solução de água destilada e cloreto de sódio é utilizada com a finalidade de auxiliar a medição da variação de condutividade elétrica. Durante a realização do ensaio a solução está livre para se movimentar em três direções: dispersando-se de forma radial na superfície superior, sendo absorvida da forma transversal, passando da superfície superior para a superfície inferior e dispersando-se de forma radial na superfície inferior do tecido. (ÖZDIL et al., 2009)

A condutividade elétrica de um tecido seco testado em um circuito fechado é muito maior uma vez que não se detecta corrente elétrica. Ao se tratar de um tecido molhado, testado em um circuito fechado, nota-se a existência de condutividade elétrica medida pelo contato entre as superfícies superior e inferior do tecido (Hu et al, 2005).

O modelo simplificado do método de teste é demonstrado na Figura 65:

Figura 65: Modelo simplificado de método de teste

Fonte: Hu et al, 2005.

Onde:

V_0 é a tensão elétrica entre V_{ss} e GND,

R_f é a resistência do tecido e

R_c é a resistência do resistor,

Então V-test (V_1) é:

$$V_1 = \frac{V_0 - R_c}{R_c + R_f}$$

e

$$\frac{R_f}{R_c} = \frac{V_0}{V_1} - 1$$

Onde R_f é uma função conhecida do teor de umidade (M)

$$M = \frac{I}{R_f}$$

Portanto M pode ser expresso como:

$$M = \frac{I}{R_c} \frac{V_1}{V_0 - V_1}$$

A água contida na área entre cada conjunto de anel de metal na superfície superior (M_{ti}) e superfície inferior (M_{bi}) permite calcular o conteúdo total de água tanto na superfície superior (U_t) quanto na superfície inferior (U_b) do tecido através das equações:

$$U_t = \sum_{i=0}^5 M_{ti}$$

$$U_b = \sum_{i=0}^5 M_{bi}$$

As leituras de resistência elétrica são utilizadas para calcular alterações do conteúdo de umidade que quantificam o comportamento dinâmico do transporte de umidade em várias direções do tecido testado. O resumo dos resultados medidos é utilizado para classificar as propriedades de gerenciamento de umidade de um tecido utilizando-se índices pré-determinados.

Para que as medidas fornecidas pela metodologia sejam precisas, foram projetadas no aparelho de medição duas peças, uma na parte superior e a outra na inferior. Essas peças são anéis concêntricos de metal que, ao entrarem em contato com o tecido, tem a propriedade de medir a diferença de condutividade elétrica entre as superfícies da amostra.

De acordo com Borelli et al. (2013), uma série de índices são definidos e calculados para caracterizar a capacidade de gestão de umidade na amostra testada, que são:

- **Wt (s): Tempo de Molhamento:** Os índices WTt (superfície superior) e WTb (superfície inferior), mostram os tempos (segundos) necessários para que as superfícies inferior e superior do tecido comecem a ficar molhadas após o início do teste. Essa medida pode ser comparada com medida do tempo de absorção da gota no teste especificado pela norma AATCC 79 – Hidrofilidade por Absorção (Drop Test).
- **AR (%/s): Taxa de Absorção:** As taxas ARt (superfície superior) e ARb (superfície inferior) indicam a capacidade média de absorção de umidade (%/s) das superfícies do tecido no tempo do bombeamento da solução de teste.

- MWR (mm): Máximo Raio Molhado: Os valores de MWRt (superfície superior) e MWRb (superfície inferior) representam os raios máximos de difusão do líquido, em mm, nas duas superfícies da amostra e são determinados por um conjunto de anéis concêntricos nas superfícies superior e inferior respectivamente quando a inclinação do teor total de água tornar-se maior que $\tan 15^\circ$.
- SS (mm/s): Velocidade de difusão: As medidas de SSt (superfície superior) e SSb (superfície inferior) representam a velocidade de propagação da umidade acumulada nas duas superfícies da amostra em mm/s, a partir do centro até o máximo raio umedecido.
- R (%): Capacidade de transporte em um único sentido: é a diferença da umidade acumulada entre as duas superfícies do tecido considerando um único sentido de transporte (da superfície superior para a inferior), expresso em % e determinado de acordo com a relação:

$$R = U_b - U_t$$

Onde:

Ut: % de líquido absorvido na superfície superior durante o tempo total do teste

Ub: % de líquido absorvido na superfície inferior durante o tempo total do teste

- OMMC: Capacidade global de gestão de umidade: é um índice para indicar a capacidade do tecido para gerenciar a umidade, que varia de 0 a 1, sendo que 0 representa a pior performance e 1 a melhor. O índice considera três aspectos:
 - Taxa de absorção na superfície inferior: **ARb**
 - Índice de transporte de líquido em um único sentido: **R**
 - Velocidade de difusão na superfície inferior: **SSb**

A capacidade geral de gestão de umidade (OMMC) é definida por:

$$OMMC = C_1 * ARb + C_2 * R + C_3 * SSb$$

Onde C1, C2 e C3 são os pesos adimensionais para ARb, R e SSb, respectivamente. Os valores de C1, C2, e C3 podem ser ajustados de acordo com a importância relativa dos mesmos baseados nos tipos de tecido e o uso final do produto. Os pesos adotados no desenvolvimento do MMT e que são adotados pela norma AATCC 195, são:

$$C1 = 0,25$$

$$C2 = 0,50$$

$$C3 = 0,25$$

Esses valores foram escolhidos baseando-se no estudo das percepções humanas, e considerando que a capacidade de transporte transversal tem o dobro de importância comparada à capacidade de absorção e velocidade de difusão (HU, 2013).

Os resultados obtidos são baseados em resistência à água, repelência à água e as características de absorção de água da estrutura do tecido, incluindo estrutura geométrica e interna do tecido e as características de absorção de suas fibras e fios.

De acordo com a norma AATCC 195:2009, deve-se avaliar a capacidade de transporte de umidade dos tecidos através do índice OMMC.

Se os valores de OMMC de um tecido estão entre 0,6 e 0,8, isso significa que a capacidade de gerenciamento de umidade é muito boa, se o valor for superior a 0,8 a capacidade de gerenciamento de umidade do tecido é considerada excelente.

2.14.1. Preparação dos corpos de prova

Os corpos de prova devem ser cortados na transversal do tecido com dimensões de 8,0 x 8,0 cm. Estes deverão ser lavados por 5 (cinco) minutos no equipamento Ultrasonic Cleaner com água destilada a fim de retirar pequenas impurezas existentes nos corpos de prova antes da realização dos ensaios no MMT.

2.14.2. Apresentação dos resultados

O MMT, está conectado a um computador que possui software responsável pelos cálculos de resultados pela apresentação de gráficos feitos por meio das medições feitas pelo equipamento. Os gráficos como o da Figura 66, são obtidos através de medições do MMT, e expressam a Absorção de líquido em função do tempo, onde a curva identificada como UT, se refere ao sensor superior, portanto a medição da superfície do tecido que fica em contato com a pele e UB, refere-se ao sensor inferior, superfície externa do tecido.

Figura 66: Gráfico de absorção x tempo

Fonte: Manual do Moisture Management Testes, 2010.

2.14.3. Análise dos resultados

O MMT pode distinguir sete diferentes tipos de performance do tecido, analisando o comportamento médio dos cinco corpos de prova utilizados no ensaio.

- 1) Tecido à prova d'água: Absorção de líquido muito lenta, lenta difusão na superfície e sem transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal de líquido) (Figura 67).

Figura 67: Representação do raio molhado do tecido à prova d'água

Fonte: Borelli, 2013.

- 2) Tecido repelente à água: Neste caso, o tecido não molha, não absorve, não espalha e apresenta muito pequeno transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal de líquido) (Figura 68).

Figura 68: Representação do raio molhado do tecido repelente à água

Fonte: Borelli, 2013

- 3) Tecido que absorve e seca lentamente: Para este comportamento nota-se que o tecido teve absorção e difusão lentas e um transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido pobre (Figura 69).

Figura 69: Representação do raio molhado do tecido que absorve e seca rapidamente

Fonte: Borelli, 2013.

- 4) Tecido que absorve rápido e seca lentamente: Para este comportamento nota-se que o tecido apresenta média a rápida absorção, difusão lenta em uma pequena área e um pequeno transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal de líquido) (Figura 70).

Figura 70: Representação do raio molhado do tecido que absorve rápido e seca lentamente

Fonte: Borelli, 2013.

- 5) Tecido que absorve e seca rapidamente: O tecido tem média a rápida absorção, difusão rápida em uma grande área e pobre transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal de líquido) (Figura 71).

Figura 71: Representação do raio molhado do tecido que absorve e seca rapidamente

Fonte: Borelli, 2013.

- 6) Tecido de penetração de água: O tecido tem um excelente transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal de líquido) porem este espalha-se sobre uma área pequena (Figura 72).

Figura 72: Representação do raio molhado do tecido de penetração de água

Fonte: Borelli, 2013.

- 7) Tecido com controle de umidade: O tecido tem rápida absorção, difusão rápida em uma grande área na superfície inferior e excelente transporte de líquido da superfície superior para a superfície inferior do tecido (transporte transversal de líquido) (Figura 73).

Figura 73: do raio molhado do tecido com controle de umidade

Fonte: Borelli, 2013.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para esse estudo foram analisadas malhas mono frontura (meia-malha) e dupla frontura (piquet suíço) de poliamida e poliéster, com fios standard e microfibra e com fatores de cobertura aberto e fechado.

As amostras foram produzidas no laboratório de malharia do departamento de engenharia têxtil do Centro Universitário da FEI, com fios obtidos de fornecedores nacionais de marcas líderes do mercado.

A Figura 74 resume o procedimento utilizado no desenvolvimento do trabalho, mostrando os fatores de variação e as variáveis resposta.

Figura 74: Fatores e respostas

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Para definição dos ensaios foi utilizado planejamento fatorial 2^4 sem pontos centrais. Os fatores de variação e seus níveis estão mostrados na Tabela 5.

Tabela 5: Fatores analisados

Fatores	Níveis	
Ligamento	Meia-malha	Malha dupla
Fator de cobertura	Aberto	Fechado
Fibra	Poliéster	Poliamida
Filamento	Standard	Microfibra

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

O planejamento dos ensaios mostrado foi desenvolvido no software estatístico MINITAB com os fatores e níveis da tabela 6 obtendo um total de 16 ensaios com uma replicagem em cada ponto fatorial (32 ensaios).

3.1.1. Fios utilizados

Foram utilizados os seguintes fios de marcas líderes do mercado:

Poliéster:

- Standard: 167f48 dtex
- Microfibr: 167f144 dtex

Poliamida:

- Standard: 2x78f23 dtex
- Microfibr: 2x80f68 dtex

3.1.2. Equipamentos utilizados

Para produção das malhas foram utilizadas as seguintes máquinas:

Máquina Monofrontura:

As amostras foram confeccionadas na máquina DS Degoisey - Finura: 24 - Diâmetro: $3^{3/4}$ polegadas e as especificações de sua construção estão na Tabela 6:

Tabela 6: Especificações de construção da meia malha

Fator de Cobertura	LFA	V. Fio	Tensão
Aberto	314	75	5 a 6
Fechado	272	65	5 a 6

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

O ligamento utilizado na construção das amostras para a máquina monofrontura foi o meia-malha, a representação do ligamento pode ser vista na Figura 75.

Figura 75: Representação do ligamento Meia-malha

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Máquina Dupla frontura:

As amostras foram confeccionadas na máquina Mayer (OVJA 36 E22) – diâmetro 30” e as especificações de sua construção estão na Tabela 7:

Tabela 7: Especificações de construção da malha dupla

Fator de Cobertura		LFA	V. Fio	Tensão
Aberto	Ímpar	874	109	5 a 6
	Par	435	54	5 a 6
Fechado	Ímpar	755	86	5 a 6
	Par	375	47	5 a 6

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

O ligamento utilizado na construção das amostras para a máquina dupla frontura foi o Piquet suíço, a representação do ligamento pode ser vista na Figura 76.

Figura 76: Representação do ligamento Piquet Suíço

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

3.1.3. Lavagens

Após produzidas em cru, as malhas foram submetidas ao processo de lavagem caseira, cujo procedimento está descrito na Tabela 8. O processo foi repetido 3 vezes para garantir a retirada de todas as sujidades e óleos presentes no material.

Tabela 8: Processo de lavagem caseira

Processo	Equipamento	Tempo	Temperatura
Lavagem Caseira	Máquina de lavar	45 min	Ambiente
Hidro extração	Centrífuga	1 min	Ambiente
Secagem	Mesa	48 h	Ambiente

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

3.2. Amostras obtidas

Tabela 9: Amostras

Amostra	Ligamento	F.C.	Fibra	Filamentos
1	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra
2	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard
3	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard
4	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard
5	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra
6	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard
7	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra
8	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard
9	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra
10	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard
11	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra
12	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard
13	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra
14	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard
15	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra
16	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard
17	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra
18	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra
19	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra
20	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra
21	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra
22	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard
23	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard
24	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra
25	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard
26	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra
27	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard
28	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard
29	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard
30	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard
31	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra
32	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

3.3. Caracterização

As malhas foram caracterizadas no Laboratório Têxtil da Interface Engenharia Aduaneira através dos seguintes ensaios:

3.3.1. Densidade linear

Foram efetuadas medidas para determinar a densidade linear (g/m^2) das amostras segundo a norma ABNT - NBR 10591/1988.

Para a realização desse ensaio devem ser preparados cinco corpos de prova. Na sequência os corpos de provas devem ser pesados em uma balança analítica e, a partir do peso obtido, pode-se efetuar o cálculo para obtenção da gramatura do artigo em gramas por metro quadrado. Os equipamentos necessários são:

- Escala metálica graduada em milímetros
- Gabarito metálico com dimensões de (10x10) cm ou circular com área de 100cm^2
- Balança com precisão de 0,001g.

Os resultados experimentais encontrados para os tecidos analisados estão dispostos na Tabela 10:

Tabela 10: Resultados de caracterização – Densidade linear

Gramatura (g/m^2)	Teste	Replicação
1	141,54	139,08
2	162,88	161,76
3	157,50	157,00
4	239,18	242,67
5	225,66	219,70
6	253,68	252,45
7	235,59	240,79
8	242,00	237,65
9	215,09	214,75
10	148,79	149,33
11	242,61	237,82
12	160,55	162,36
13	149,98	149,76
14	139,44	160,33
15	246,07	255,75
16	163,23	176,19

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

3.3.2. Espessura

Os valores de espessura (mm) das amostras foram determinados segundo a norma ABNT - NBR 13383.

Para esse ensaio são preparados cinco corpos de prova de 100 cm², os quais são submetidos à medição no aparelho medidor de espessura, sob a ação de um apalpador de aço de área de 25 cm² e com pressão aplicada de 4 gf/cm² por 10 segundos, após o qual é feita a medida da espessura dos corpos de prova em milímetros. Os materiais utilizados são:

- Gabarito metálico com dimensões de (10x10) cm ou circular com área de 100 cm²
- Aparelho medidor de espessura.

Os resultados de espessura encontrados para os tecidos analisados estão dispostos na Tabela 11:

Tabela 11: Resultados de caracterização – Espessura

Espessura (mm)	Teste	Replicação
1	0,55	0,57
2	0,72	0,72
3	0,57	0,58
4	1,14	1,13
5	1,03	1,01
6	1,08	1,09
7	0,98	0,99
8	1,19	1,2
9	1,91	1,91
10	0,66	0,67
11	1,87	1,89
12	0,58	0,57
13	0,49	0,49
14	0,61	0,63
15	1,07	1,13
16	0,55	0,62

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

3.3.3. Densidade

Serão realizadas as medidas de colunas por cm e carreiras por cm segundo norma ABNT - NBR 12060/1991.

Para a realização desse ensaio, utilizando uma lente conta-fios, deve-se contar, em cinco regiões do tecido, o número de carreiras por centímetro e o número de colunas por centímetro. Os valores de malhas por cm² serão calculados multiplicando-se os valores de colunas e carreiras por cm. Os materiais utilizados são:

- Conta-fios

Os resultados de densidade encontrados para os tecidos analisados estão dispostos na Tabela 12:

Tabela 12: Resultados de caracterização – Densidade

Densidade	Colunas (col/cm)		Carreiras (car/cm)	
	Teste	Replicação	Teste	Replicação
1	13	14	20	21
2	13	14	18	17
3	13	13	23	23
4	12	12	17	16
5	12	12	14	13
6	12	12	17	17
7	12	12	15	16
8	12	12	14	14
9	12	11	16	16
10	14	13	21	21
11	12	12	18	18
12	14	15	24	23
13	14	15	21	21
14	14	14	18	18
15	13	13	15	15
16	16	16	22	22

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

3.4. Ensaios

3.4.1. MMT (Moisture Management Tester)

Norma: **AATCC Test Method 195: Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics.**

Figura 77: Equipamento Moisture Management Tester (MMT)

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Para o ensaio foram usados 5 corpos de prova de 8,0 x 8,0 cm no sentido transversal do tecido, antes da realização do ensaio é necessária uma limpeza do material a ser testado através de lavagem no equipamento Ultrasonic Cleaner. Todo o procedimento está descrito na tabela 13:

Tabela 13: Etapas no ensaio do MMT

Processo	Equipamento	Tempo	Temperatura
Lavagem	Ultrasonic Cleaner	5 min	Ambiente
Secagem	Superfície lisa	24 h	Ambiente
Avaliação	MMT	120 s/ c.p.	Ambiente

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

3.4.2. Hidrofilidade por Capilaridade

Norma: **JIS L 1907**: *Vertical wicking*.

Figura 78: Realização do Ensaio de Hidrofilidade por Capilaridade

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Para o ensaio foram necessários corpos de prova de 20,0 x 2,5 cm, sendo 5 no sentido das colunas e 5 no sentido das carreiras.

Deve-se utilizar um dispositivo fixador do corpo de prova, régua graduada e reservatório para água.

Cada corpo de prova é fixado no dispositivo, imergir a ponta do corpo de prova na superfície da água por 10 minutos e medir a altura que água subiu por ele em milímetros.

3.4.3. Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)

Norma: **AATCC Test Method 79: *Absorbency of textiles.***

Figura 79: Realização do Ensaio de Hidrofilidade por Absorção

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Para o ensaio foram usados 3 corpos de prova de 10,0 x 10,0 cm. São necessários cronômetro, bureta e água destilada.

O procedimento consiste em pingar uma gota de água proveniente da bureta sobre o tecido e cronometrar o tempo para a gota desaparecer, sendo que o bico da bureta dever estar a 1 cm da superfície do tecido.

3.5. Análise dos dados

Após realização dos ensaios nas amostras, os dados obtidos para as várias características medidas foram analisados através do software MINITAB, com obtenção dos seguintes elementos de análise:

- Gráficos de influência dos fatores
- Gráficos dos efeitos dos fatores principais
- Análise dos resíduos

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para os valores de caracterização encontrados para os tecidos fabricados pode-se perceber em relação a densidade linear, que os tecidos de malha dupla possuem resultados maiores em comparação aos de meia-malha, o mesmo ocorre com os valores de espessura encontrados, isso se dá pelo fato de que os tecidos de malha dupla possuem duas camadas de fios em sua estrutura, fazendo que estes fiquem mais pesados e mais grossos em comparação aos de meia-malha.

Para a densidade, tanto no sentido das colunas, como nos das carreiras, os tecidos com fator de cobertura fechado apresentaram mais colunas por centímetro e mais carreiras por centímetro em comparação com os tecidos de fator de cobertura aberto. Isso ocorre pois quando temos uma estrutura de tecido mais fechada a quantidade de colunas e carreiras em um mesmo comprimento é maior por isso fios estão mais próximos dentro da estrutura do tecido.

Os dados obtidos dos ensaios realizados nas amostras, sendo MMT (OMMC), hidrofilidade por capilaridade e hidrofilidade por absorção, foram analisados com o auxílio do software estatístico MINITAB conforme planejamento mostrado no Quadro 2.

Quadro 2: Planejamento fatorial MINITAB

Full Factorial Design			
Factors:	4	Base Design:	4; 16
Runs:	32	Replicates:	2
Blocks:	1	Center pts (total):	0

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

4.1. Resultados MMT

Os resultados obtidos nos ensaios no MMT (Moisture Management Tester), para o índice OMMC (índice global de gestão de umidade) estão mostrados na Tabela 14:

Tabela 14: Resultados de OMMC para o Ensaio no MMT

Amostra	Ligamento	F. C.	Fibra	Filamentos	MMT (OMMC)
1	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra	0,47102
2	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	0,56752
3	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	0,41054
4	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	0,60382
5	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra	0,37910
6	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	0,63156
7	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra	0,31534
8	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	0,4122
9	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra	0,29128
10	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	0,55132
11	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra	0,31382
12	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	0,42596
13	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra	0,26212
14	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	0,58914
15	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	0,50954
16	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	0,58358
17	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	0,56312
18	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra	0,53726
19	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	0,56896
20	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	0,50038
21	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra	0,33476
22	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	0,16838
23	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	0,31574
24	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra	0,38058
25	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	0,64108
26	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	0,50250
27	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	0,50868
28	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	0,24840
29	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	0,54450
30	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	0,64492
31	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	0,38872
32	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra	0,44378

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

O Diagrama de Pareto da Figura 80 mostra que todos os efeitos que ultrapassam a linha vermelha no valor de 2,052 são significantes. Desse modo pode-se afirmar com 95% de confiança que o índice OMMC do aparelho MMT é influenciado em primeiro lugar pelo ligamento, depois pelo número de filamentos seguido do tipo de fibra. Somente o fator de cobertura não teve influência nos resultados.

Figura 80: Diagrama de Pareto para os resultados de OMMC

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

A Figura 81 mostra os gráficos de efeitos dos fatores nos os resultados de OMMC para o ensaio no MMT.

O OMMC é tido como o índice global de gestão de umidade e trata-se de uma média ponderada dos seguintes fatores: taxa de absorção da superfície inferior (externa), transporte de líquido em um único sentido e velocidade de difusão da superfície inferior (externa). É um índice adimensional e varia de 0 (zero) até 1(um), sendo que quanto maior o valor, melhor é a capacidade global de gestão de umidade do tecido em análise, portanto, nos gráficos, os maiores valores expressam os melhores resultados.

Figura 81: Efeitos dos fatores nos resultados de OMMC

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Nos gráficos da Figura 81, pode-se observar que, os tecidos de meia-malha apresentaram um melhor resultado em relação aos tecidos de malha dupla, os tecidos construídos com fios de microfibra apresentaram um resultado superior aos construídos com fios standard e os tecidos de poliamida tiveram resultados melhores dos que os de poliéster. O fator de cobertura não influencia os resultados obtidos.

Os tecidos de meia malha apresentaram resultados de transporte global de umidade melhores em comparação aos os de malha dupla, isso ocorre pois os tecidos de meia-malha são mais finos, eles possuem apenas uma camada de fios em sua estrutura, enquanto os tecidos de malha dupla possuem fios na camada da frente e fios na camada de trás, tornando sua estrutura mais espessa e isso faz com que o líquido leve mais tempo para atravessá-la e chegar a superfície externa, o que nos tecidos de meia malha ocorre mais rapidamente, apresentando uma maior taxa de absorção da superfície externa.

As fibras de poliamida foram melhores na gestão de umidade quando comparadas às de poliéster. O caráter hidrófobo das fibras de poliéster resulta em uma menor taxa de absorção da superfície inferior, pois o líquido só atravessa as fibras de poliéster e não é absorvido por elas. Como no poliéster o transporte ocorre somente pela hidrofiliidade por capilaridade e não por absorção, a velocidade de difusão do líquido na superfície inferior é menor, já no caso da poliamida têm-se simultaneamente os dois tipos de hidrofiliidade, por capilaridade e por absorção, o que potencializa a capacidade de gestão de umidade pelo aumento da velocidade de difusão e da taxa de absorção na superfície inferior (externa).

Para os filamentos observou-se uma melhor capacidade de gestão de umidade nas microfibras em comparação com os filamentos standard. Os fios de microfibras possuem, para um mesmo título resultante, um maior número de filamentos, o que implica em um maior número de espaços vazios por entre os filamentos, o que, para o transporte de umidade, se apresentam como capilares que auxiliam no transporte do líquido da superfície interna do tecido para a sua superfície externa, portanto a presença de microfilamentos aumenta o efeito de hidrofiliidade por capilaridade e melhora os resultados globais de transporte de umidade.

Apesar ser possível perceber na Figura 82 que o fator de cobertura aberto tende a propiciar resultados um pouco melhores do que o fechado, conforme foi visto no diagrama de Pareto da Figura 81, não há comprovação estatística dessa influência para os ensaios realizados. Provavelmente isso deve-se ao fato de que foram utilizados neste trabalho fatores de cobertura situados bem dentro da faixa de valores de tecidos comerciais comuns. Se o trabalho tivesse sido realizado com limites de fatores bem mais aberto e bem mais fechado provavelmente teríamos uma diferença estatisticamente significativa. Porém não teria significância do ponto de vista prático pois representaria uma condição de produção de malhas fora do que é comercialmente aceito para esse tipo de produto.

4.2. Resultados Hidrofiliidade por Capilaridade

Os resultados obtidos nos ensaios de Hidrofiliidade por Capilaridade estão mostrados nas Tabelas 15 e 16, para o sentido das colunas e das carreiras respectivamente:

Tabela 15: Resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas

Amostras	Ligamento	F. C.	Fibra	Filamentos	Colunas
1	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra	7,78
2	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	8,46
3	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	11,96
4	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	3,34
5	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra	10,44
6	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	3,58
7	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra	11,38
8	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	4,92
9	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra	10,06
10	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	6,42
11	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra	7,82
12	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	11,54
13	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra	8,80
14	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	7,40
15	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	5,30
16	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	7,84
17	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	14,56
18	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra	8,18
19	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	7,40
20	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	14,54
21	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra	14,66
22	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	8,24
23	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	4,54
24	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra	11,92
25	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	3,38
26	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	14,52
27	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	6,66
28	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	7,70
29	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	8,74
30	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	2,96
31	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	14,20
32	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra	7,32

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Tabela 16: Resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das carreiras

Amostras	Ligamento	F. C.	Fibra	Filamentos	Carreiras
1	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra	7,92
2	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	6,38
3	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	9,24
4	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	2,7
5	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra	11,66
6	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	3,56
7	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra	11,3
8	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	5,36
9	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra	10,36
10	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	4,4
11	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra	9,42
12	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	9,4
13	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibra	9,34
14	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	5,88
15	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	8,02
16	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	6,8
17	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	13,86
18	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra	8,8
19	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	7,86
20	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	13,72
21	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra	13,3
22	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	7
23	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	5,68
24	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra	13,02
25	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	2,42
26	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	12,64
27	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	5,1
28	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	6,14
29	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	5,76
30	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	3,02
31	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	12,76
32	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra	8,88

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Os Diagramas de Pareto da Figura 82, para colunas, e da Figura 83, para carreiras, mostram que todos os efeitos que ultrapassam a linha vermelha no valor de 2,052 são significantes. Desse modo é possível observar, com 95% de confiança, que tanto no sentido das colunas como no sentido das carreiras, a fibra, os filamentos e o ligamento tem influência

no transporte de líquido por capilaridade e que o fator de cobertura, assim como aconteceu no OMMC do MMT, não apresentou influência estatisticamente significativa nos resultados de capilaridade ao nível de 95% de confiança.

Figura 82: Diagrama de Pareto para os resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Figura 83: Diagrama de Pareto para os resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das carreiras

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

As Figuras 84 e 85 mostram os gráficos de efeitos dos fatores para o ensaio de Hidrofilidade por Capilaridade. A Figura 84 mostra os efeitos para o sentido das colunas e a Figura 85 mostra os efeitos para o sentido das carreiras. Os resultados dos ensaios são expressos em milímetros (mm), sendo que quanto maior o valor em milímetros, mais líquido o tecido conseguiu transportar durante os 10 minutos de realização do ensaio, portanto, nos gráficos, os maiores valores expressam os melhores resultados.

Figura 84: Efeitos dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Nos gráficos da Figura 84, pode-se observar que, no sentido das colunas, as fibras de poliéster apresentaram um melhor resultado em relação às de poliamida, os tecidos construídos com fios de microfibra apresentaram um resultado superior aos fios standard e que os tecidos de meia malha tiveram resultados melhores dos que os de malha dupla. Conforme visto no diagrama de Pareto da Figura 82, o fator de cobertura não influenciou os resultados obtidos.

Figura 85: Efeito dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das carreiras

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Nos gráficos da Figura 85, pode-se observar, que, assim como no sentido das colunas, no sentido das carreiras as fibras de poliéster têm resultados melhores do que as de poliamida, os tecidos de fios de microfibras apresentaram um resultado superior aos fios standard e os tecidos de meia malha apresentaram melhores resultados em comparação aos de malha dupla. Conforme visto no diagrama de Pareto da Figura 83, o fator de cobertura não influenciou os resultados obtidos.

Em ambos os casos, tanto no sentido das carreiras como no sentido das colunas, as fibras de poliéster apresentaram melhores resultados do que as de poliamida. Isto se dá devido as características das fibras, que são diferentes em relação a absorção de umidade. Enquanto o poliéster é uma fibra hidrófoba, a poliamida possui hidrofilidade por absorção. Como as fibras de poliéster não absorvem o líquido para do interior de sua estrutura, nestas fibras o transporte ocorre somente por capilaridade, enquanto que nas poliamidas parte do líquido está sendo absorvido pela estrutura da fibra, portanto no caso do poliéster o efeito de capilaridade se potencializa devido às características hidrófobas do polímero.

Tanto no sentido das colunas como no sentido das carreiras os fios de microfibras tiveram resultados melhores em comparação às fibras standard. Isso ocorre pois, para um mesmo título de fio, os fios de microfibras possuem mais filamentos em sua seção transversal, o que implica capilares em maior número e mais finos para transportar o líquido nos espaços vazios entre esses filamentos, resultando em uma melhora na hidrofilidade por capilaridade dos tecidos.

Nos dois sentidos constatou-se que os tecidos de meia-malha foram mais eficientes em transportar o líquido em comparação com os tecidos de malha dupla. A espessura de tecidos de malha dupla é sempre maior se comparada a tecidos de malha simples, quanto menor a espessura, maior será o fluxo transportado pelo tecido, logo, tecidos de malha dupla tendem a apresentar resultados inferiores, pois o líquido precisa penetrar uma camada mais espessa de tecido para ser capaz de atravessar sua estrutura.

No que diz respeito ao fator de cobertura valem as mesmas considerações citadas para a análise dos resultados do MMT.

4.3. Resultados Hidrofilidade por Absorção – Drop Test

Os resultados obtidos nos ensaios de Hidrofilidade por Absorção – Drop Test estão mostrados na Tabela 17:

Tabela 17: Resultados de Hidrofilidade por Absorção – Drop Test

Amostra	Ligamento	F. C.	Fibra	Filamentos	Drop Test
1	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibras	1,57
2	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	182,71
3	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	227,94
4	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	9,90
5	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibras	312,05
6	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	14,31
7	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibras	281,55
8	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	603,23
9	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibras	4,27
10	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	2,41
11	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibras	5,13
12	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Standard	213,49
13	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Microfibras	4,47
14	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	2,66

Amostra	Ligamento	F. C.	Fibra	Filamentos	Drop Test
15	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	2,07
16	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Standard	179,27
17	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	80,27
18	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Microfibra	1,09
19	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Microfibra	2,09
20	Meia-malha	Aberto	Poliéster	Microfibra	76,93
21	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Microfibra	299,68
22	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	661,41
23	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Standard	600,06
24	Malha Dupla	Aberto	Poliéster	Microfibra	294,75
25	Malha Dupla	Fechado	Poliamida	Standard	11,60
26	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	92,47
27	Meia-malha	Aberto	Poliamida	Standard	2,54
28	Malha Dupla	Fechado	Poliéster	Standard	643,31
29	Meia-malha	Fechado	Poliamida	Standard	2,82
30	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Standard	9,66
31	Meia-malha	Fechado	Poliéster	Microfibra	82,93
32	Malha Dupla	Aberto	Poliamida	Microfibra	4,10

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

O Diagrama de Pareto da Figura 86, mostra que todos os efeitos que ultrapassam a linha vermelha no valor de 2,052 são significantes, desse modo pode-se afirmar com 95% de confiança que o fator de cobertura também não interfere nos resultados de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test).

Figura 86: Diagrama de Pareto para os resultados de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

A Figura 87 mostra os gráficos de efeitos dos fatores para o ensaio de Hidrofilidade por Absorção. Os resultados dos ensaios são expressos em segundos (s), sendo que quanto menor o tempo em segundos, mais rápida é a absorção de líquido pelos tecidos, portanto, nos gráficos, os menores valores expressam os melhores resultados.

Figura 87: Efeito dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Nos gráficos da Figura 87, é possível constatar que para o ensaio de Capilaridade por Absorção, as fibras de poliamida apresentaram um melhor resultado em comparação com as de poliéster, os tecidos construídos com fios de microfibras tiveram resultados superiores aos de fios standard e os tecidos de meia malha tiveram resultados melhores dos que os de malha dupla. Conforme visto no diagrama de Pareto da Figura 87, o fator de cobertura não influencia os resultados obtidos.

É possível notar que as fibras de poliéster levaram muito mais tempo para absorver o líquido se comparadas às de poliamida. As fibras de poliéster são fibras hidrófobas, logo, sua estrutura não absorve o líquido, sendo assim o transporte se dá somente através de espaços vazios presentes nos macroporos formados pelos fios na estrutura do tecido e pelos microporos formados pelas fibras dentro dos fios, sendo um transporte apenas superficial. No

caso das poliamidas, devido a hidrofilidade da fibra, o líquido é atraído para dentro da sua estrutura e isso facilita o seu rápido transporte e o rompimento da tensão superficial que existe entre o líquido e a superfície do tecido.

As microfibras apresentaram um melhor transporte em relação às fibras standard, devido ao maior efeito de capilaridade. Apesar de esse método não se destinar a medir o transporte por capilaridade, o efeito do maior número de microporos presentes na estrutura dos fios de microfibra auxilia no transporte de umidade dos tecidos de uma forma geral.

Como já era esperado, assim como nos demais testes realizados os tecidos de meia malha apresentaram resultados melhores do que os de malha dupla, pois quanto maior a espessura do tecido, maior é o caminho que o líquido precisa percorrer para atravessar sua estrutura e ser totalmente absorvido, levando mais tempo para que isso ocorra.

No que diz respeito ao fator de cobertura valem as mesmas considerações citadas para a análise dos resultados do MMT.

Nos três métodos diferentes utilizados para analisar a capacidade de transporte de umidade dos tecidos foi possível notar que houve influência dos fatores ligamento, tipo de fibra e número de filamentos, e também constatou-se que para esses três métodos não houve influência do fator de cobertura. Nos Quadros 3, 4, 5 e 6, retiradas da análise estatística realizada no software MINITAB, é possível verificar qual foi a influência de cada um dos fatores nos ensaios realizados:

Quadro 3: Influência dos fatores nos resultados do MMT (OMMC)

Factorial Fit: MMT (OMMC) versus Ligamento; Fator de Cobertura; ...					
Estimated Effects and Coefficients for MMT (OMMC) (coded units)					
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0,45655	0,01578	28,94	0,000
Ligamento	-0,11474	-0,05737	0,01578	-3,64	0,001
Fator de Cobertura	-0,05619	-0,02809	0,01578	-1,78	0,086
Fibra	0,10100	0,05050	0,01578	3,20	0,003
Filamentos	0,10347	0,05173	0,01578	3,28	0,003

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Quadro 4: Influência dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas

Factorial Fit: Capilaridade col versus Ligamento; Fator de Cobertu; ...						
Estimated Effects and Coefficients for Capilaridade colunas (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		8,643	0,3172	27,25	0,000	
Ligamento	-2,152	-1,076	0,3172	-3,39	0,002	
Fator de Cobertura	1,043	0,521	0,3172	1,64	0,112	
Fibra	-4,142	-2,071	0,3172	-6,53	0,000	
Filamentos	3,825	1,912	0,3172	6,03	0,000	

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Quadro 5: Influência dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Capilaridade no sentido das colunas

Factorial Fit: Capilaridade Car versus Ligamento; Fator de Cobertu; ...						
Estimated Effects and Coefficients for Capilaridade Carreiras (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		8,178	0,1997	40,96	0,000	
Ligamento	-0,961	-0,481	0,1997	-2,41	0,023	
Fator de Cobertura	0,399	0,199	0,1997	1,00	0,327	
Fibra	-3,426	-1,713	0,1997	-8,58	0,000	
Filamentos	5,251	2,626	0,1997	13,15	0,000	

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Quadro 6: Influência dos fatores nos resultados de Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)

Factorial Fit: Drop Test versus Ligamento; Fator de Cobertura; ...						
Estimated Effects and Coefficients for Drop Test (coded units)						
Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P	
Constant		153,5	19,94	7,70	0,000	
Ligamento	162,9	81,4	19,94	4,09	0,000	
Fator de Cobertura	11,4	5,7	19,94	0,29	0,776	
Fibra	-297,0	-148,5	19,94	-7,45	0,000	
Filamentos	-113,9	-56,9	19,94	-2,86	0,008	

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

A Tabela 18 mostra um resumo dos valores de influência dos fatores ligamento, tipo de fibra e número de filamentos para os resultados encontrados nos ensaios de MMT (OMMC), Hidrofilidade por capilaridade no sentido das colunas e das carreiras e Hidrofilidade por absorção (Drop Test). Na Tabela 19, os valores foram convertidos e expressos como o percentual de influência de cada um dos fatores.

Tabela 18: Resumo da Influência dos fatores

	MMT	Capilaridade colunas	Capilaridade carreiras	Drop Test
Ligamento	3,64	3,39	2,41	4,09
Fibra	3,2	6,53	8,58	7,45
Filamentos	3,28	6,03	13,15	2,86

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

Tabela 19: Resumo da influência dos fatores em porcentagem (%)

	MMT	Capilaridade colunas	Capilaridade carreiras	Drop Test
Ligamento	36,0	21,3	10,0	28,4
Fibra	31,6	40,9	35,5	51,7
Filamento	32,4	37,8	54,5	19,9

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

O Gráfico da Figura 88 permite uma melhor visualização do percentual de influência dos fatores nos resultados dos ensaios.

Figura 88: Influência dos fatores expressos em porcentagem

Fonte: Fernanda Gomes de Vasconcelos, 2016

No gráfico da Figura 88 pode-se observar que o ensaio no MMT é o que possui uma divisão mais equilibrada da influência dos três fatores para os resultados encontrados, desse modo entende-se que nessa metodologia todos os fatores que interferem nos resultados foram considerados de maneira equilibrada correspondendo a um resultado que é mais representativo do que ocorre na prática.

No caso dos ensaios de Hidrofilidade por Capilaridade, foram encontradas diferenças de influência quando os ensaios foram realizados nos sentidos de coluna e carreira. No sentido das colunas a influência entre o tipo de fibra e o número de filamentos é bem próxima, porém o ligamento apresenta influência inferior, quase a metade se comparado aos outros fatores. Já no sentido das carreiras a maior parte da influência, correspondendo a mais de 50%, se dá pelo número de filamentos, devido ao efeito de capilaridade ser potencializado neste sentido do tecido, o tipo de fibra tem influência média e o ligamento possui baixa influência nos resultados, apenas 10%. Como este ensaio ocorre mergulhando a ponta do tecido no líquido e mantendo sua estrutura em posição vertical, há pouca influência das diferenças de espessura do tecido nos ligamentos meia-malha e malha dupla para os resultados encontrados, pois ensaio mede o líquido que percorre o tecido no sentido vertical, sem levar em conta a quantidade de líquido que atravessa sua estrutura na transversal, resultando em uma baixa influência do ligamento.

Para o ensaio de Hidrofilidade por Absorção houve uma influência de mais de 50% do tipo de fibra, isso se dá devido ao caráter hidrofóbico do poliéster que possui estrutura que não absorve o líquido, enquanto que no caso da poliamida, devido a hidrofilidade da fibra, o líquido é atraído para dentro da estrutura da fibra, facilitando o rápido transporte. O ligamento tem influência mediana e para esse ensaio a menor influência é para o número de filamentos, pois como nesse ensaio a gota de líquido atravessa o tecido no sentido transversal, o número de filamentos não exerce grande influência nesse tipo de transporte por hidrofilidade.

5. CONCLUSÃO

Através do planejamento de experimentos, ensaios e análise estatística dos resultados encontrados nesse trabalho, foi possível realizar uma avaliação dos resultados obtidos no aparelho MMT comparativamente a dois outros métodos de medida de gerenciamento de umidade, verificando a eficácia do equipamento em quantificar a diferença de comportamento entre os tecidos analisados.

Nos três métodos diferentes utilizados para analisar a capacidade de transporte de umidade dos tecidos foi possível notar que houve influência dos fatores ligamento, tipo de fibra e número de filamentos, e também constatou-se que para esses três métodos não houve influência do fator de cobertura, provavelmente isso deve-se ao fato de que foram utilizados para o trabalho fatores de cobertura situados bem dentro da faixa de valores de tecidos comerciais comuns. Se o trabalho tivesse sido realizado com limites de fatores bem mais aberto e bem mais fechado provavelmente teríamos uma diferença estatisticamente significativa. Porém não teria significância do ponto de vista prático pois representaria uma condição de produção de malhas fora do que é comercialmente aceito para esse tipo de produto.

Dentre os fatores que influenciaram os resultados dos ensaios, pode-se perceber que a metodologia utilizada pelo Moisture Management Tester (MMT) é a mais eficiente para avaliar o transporte e a absorção de líquidos em tecidos, comparada aos outros dois métodos escolhidos. Essa percepção foi obtida através da análise estatística realizada, onde foi possível notar que a metodologia do MMT possui uma divisão mais equilibrada da influência dos fatores para os resultados encontrados, desse modo confirma-se a hipótese de que essa metodologia é mais fiel ao que acontece com o tecido na prática, sendo assim os resultados apresentados são mais representativos, pois todos os fatores que interferem nos resultados são considerados de maneira equilibrada.

REFERÊNCIAS

AGUIAR NETO, P. P.; **Introdução às Fibras Têxteis - Parte 2 – Fibras Têxteis não Naturais**, Rio de Janeiro: SENAI/Cetiqt, 2005.

ALFIERI, P. P. M., **Apostila Tecnologia Fibras I**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2012.

ALFIERI, P. P. M., **Apostila Tecnologia Fibras II**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2009.

ALFIERI, P. P. M., **Apostila Tecnologia Fibras III**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2013a.

ALFIERI, P. P. M., **Tecnologia da texturização e fios Recobertos**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2013b.

AMERICAN ASSOCIATION OF TEXTILE CHEMISTS AND COLORISTS. **AATCC Test Method 195-2009**: Liquid Moisture Management Properties of Textile Fabrics, 2009.

ARAÚJO, M.; CASTRO, E.M.M. **Manual de Engenharia Têxtil**. Vol. 1. Lisboa, Fundação Calouste Guibenkian, 1986.

BARTELS, V. T., **Physiological comfort of sportswear**, The Textile Institute, CRC Press, Woodhead Publishing Limited, Cambridge, 2005.

BENLTOUFA, S.; FAYALA, F.; BENNASRALLAH, S., **Capillary Rise in Macro and Micro Pores of Jersey Knitting Structure**, Journal of Engineered Fibers and Fabrics, Volume 3, Issue 3 – 2008.

BERGEN, W. V. **Wool Handbook**. Vol. 1. New York: Interscience, 1963.

BORELLI, C., **Comparativo das propriedades de transporte de umidade, capilaridade, permeabilidade ao vapor e permeabilidade ao ar em tecidos planos de poliéster**, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013.

BORELLI, C. ; VASCONCELOS, F. B. ; ; BITTENCOURT, E. . **Avaliação da gestão de umidade em artigos têxteis através do MMT**. Química Têxtil, v. 1, p. 58-70, 2013.

BRAMEL, S. **Key trends in sportswear design**, Flórida: Woodhead Publishing Limited, 2005.

BROEGA, A. C.; SILVA, M. E. C. **O Conforto Total do Vestuário: Design para os Cinco Sentidos**. Universidade do Minho, Campuns Azurém, 4800 Guimarães, Portugal, 2009.

CABEÇO, S. M. E.; BROEGA, A. C.; CABEÇO, S. A. A., **Design do conforto total de tecidos e vestuário**, Departamento de Engenharia Têxtil, Universidade do Minho, Guimarães, Portugal, 2011.

CESTARE, J. F., **Apostila Malharia II – Malharia Circular**; Centro Universitário da FEI; São Bernardo do Campo, 2010.

CESTARE, J. F., **Apostila Malharia II – Conceitos da Malharia de Trama**; Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2013.

COLLIER, A. M. **A Handbook of Textiles**. 3. ed. Oxford: Pergamon Press, 1980.

DHINAKARAN, M.; SUNDARESAN, S.; DASARADAN, B.S., **Comfort properties of apparels**, The Indian Textile Journal, 2008.

DEOPURA, B. L. (Ed.) et al. **Polyamide Fibers**, em: _____. Polyesters and polyamides. Cambridge: CRC, 2008.

DEMIR, A. e BEHERY, H.M., **Synthetic filament yarn: texturing technology**, prentice hall, upper saddle river, New Jersey, 1997

ERHARDT, T. et al. **Curso Técnico Têxtil 2 – Física e Química Aplicada – Fibras Têxteis – Tecnologia**. Vol. 2. São Paulo: EPU, 1976a.

ERHARDT, T. et al. **Curso Técnico Têxtil 3 – Física e Química Aplicada – Fibras Têxteis – Tecnologia**. Vol. 3. São Paulo: EPU, 1976b.

FILGUEIRAS, A.; FANGUEIRO, R.; RAPHAELLI, N., **A Importância de Fibras e Fios no Design de Têxteis Destinados à Prática Desportiva**, Estudos em Design 15.1, Rev. da Associação Estudos em Design, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2008.

FONSECA, A. S.; FONSECA, T. C. **Cultura da amoreira e criação do bicho-da-seda**. São Paulo: Nobel, 1988.

FOURNÉ, Franz. **Synthetic Fibers** – Machines and equipment, manufacture, properties. Munich: Hanser, 1998.

GUILLÉN, J. G. **Fibras Químicas**: Polipropileno, Ignifugas, Termorresistentes, Alto Modulo. Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1990.

GUILLÉN, J. G. **Fibras Textiles**: Propiedades y descripción (Curso Básico). Terrassa: Universitat Politècnica de Catalunya, 1991.

GUILLÉN, J. G., **Microfibras**. Barcelona: UPC, 2001.

GORDON, J.C. **Handbook of textile fibres**: natural fibres. Durham: Merrow, 1993.

HARRIES, N. G.; HARRIES, T. E. **Materiais Têxteis** – Curso Técnico Programado. Vol. 1. São Paulo: EPU, 1976.

HIGGINS, S.C.; ANAND, M.E., **Textiles materials and products for activewear and sportswear**, Technical Textile Market, 52, 9–40, 2003.

HOLLEN, N.; SADDLER, J.; LANGFORD, A. L. **Introducción a los Textiles**. Cidade do México: Limusa, 1994.

HU, J. et al. **Moisture Management Tester: A Method to Characterize Fabric Liquid Moisture Management Properties**. Institute of Textile and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, 2005.

IBRAHIM, N. A.; KHALIFA, T. F.; EL-HOSSAMY, M. B.; TAWFIK, T. M., **Effect of Knit Structure and Finishing Treatments on Functional and Comfort Properties of Cotton Knitted Fabrics**, Journal of Industrial Textiles, 2010.

KOSLOWSKI, H. J. **Dictionary of Man-Made-Fibers** – Terms, Figures, Trademarks. Frankfurt: International Business Publishers, 1998.

LEWIN, M.; PEARCE, E. M. **Handbook of Fiber Chemistry**. 2. ed. Menachem: Series, 1998.

LI, Y.; L.X., W.; YEUNG, K.; KWOK, Y.; **Moisture management of textiles**, US Patent 6,499,338 B2, 2002.

LUBOS, H., **Últimos avanços na avaliação experimental do conforto termofisiológico e das propriedades do contato térmico do vestuário**. XIX CNTT 2000 – Congresso Nacional dos Técnicos Têxteis, Recife, 2000.

MARTIN, J. R. S., **Transpirando conforto: A gestão da funcionalidade e o conforto nos tecidos**, Revista Química Têxtil, nº 100, Setembro, 2010.

MATUSIAK, M. **Thermal insulation properties of single and multilayer textiles**. In.: 4th CENTRAL EUROPEAN CONFERENCE 2005. Czeck Republic, 2005.

McCANN, J.; HURFORD, R.; MARTIN, A. **Establishing the requirements for the design development of functional apparel with particular relevance to sport**. In: INTELLIGENT AMBIENCE AND WELL-BEING INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE. Finland, 2005.

MEDINA, J. C. **Plantas Fibrosas da Flora Mundial**. Campinas, Seção de Plantas Fibrosas, Instituto Agronômico, 1959.

MMT: Moisture Management Tester – **Instruction Manual**. Versão 4.0, SDL Atlas LLC, Charlotte, USA, 2010.

NAYAK, R. K.; CHATTERJEE, K. N.; GON, D. P.; TANWAR, A., **Handle and comfort properties of Polyester/Viscose suiting fabrics**, Man-made Textiles in India, 2007.

ONIONS, W. J. **Wool - An introduction to its properties, varieties, uses and production**. Londres, 1962.

ÖZDİL, N.; SÜPÜREN, G.; ÖZÇELİK, G.; PRŮCHOVÁ, J., **A study on the moisture transport properties of the cotton knitted fabrics in single jersey structure** Tekstil ve Konfeksiyon, 218-223, 2009.

RAJ, R. P. **Moisture transmission in knited fabrics**, Dissertação - Department of Textile Technology, Bannari Amman Institute of Technology Sathyamangalam, Erode, Tamilnadu, India, 2001.

RENGASAMY, R.S., **Wetting phenomena in fibrous materials**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2006.

RHODIA POLIAMIDA, **A Poliamida 6.6 e suas aplicações no vestuário**, material interno, não publicado. Santo André, 2007

SALEM, V.; DE MARCHI, A.; MENEZES, F.G.; **O Beneficiamento Têxtil na Prática**, 1ed, Golden Química do Brasil, São Paulo, 2005.

SCOTT, R. A. **Textiles for protection**. Cambridge: Woodhead, 2010.

SHISHOO, R., **Textiles in Sports**, Woodhead Publishing in Textiles, Cambridge, 2005.

SLATER, K. **Subjective Textile Testing**, Journal Textile Institute vol 88 Part 1, n° 2, 1997.

SINTES, I. R., **Fibras Textiles Sintéticas**. 2. ed. Barcelona: Bosch, 1953.

Site: <http://www.equarea.com/ES/>, último acesso em 04/11/2014.

Site: <http://www.adidasgolf.com/innovation/prove-it-apparel>, último acesso em 14/10/2014

Site: www.nike.com, último acesso em 22/10/2014

Site: www.textileworld.com, último acesso em 18/12/2014

Site: www.portalsaofrancisco.com.br/alfa/dilatacao-dos-liquidos-solidos-e-gases/termometro-4.php, último acesso em 13/11/2014

SPENCER, D., **Knitting Technology**, Pergamon Press, 3ed., London, 2001.

TROTMAN, E. R. **Dyeing and chemical technology of textile fibres**. 6. ed. High Wycombe: Charles Griffin, 1984.

VALLE, M. C. G.; FREITAS, T. O.; GUEDES, R. C., SILVA, I. P. **Uma nova geração de fibras: um estudo sobre a busca pelo conforto e redução dos impactos ambientais**. Revista Universidade Rural: Série Ciências Humanas, Seropédica, RJ: EDUR, v.26, 2004.

VASCONCELOS F. B. **Fibras sintéticas – Conceito de fiação de filamentos por fusão**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2010.

VASCONCELOS, F. B., **Fisiologia do vestuário: aplicação no esporte**, Feira de esportes - Ibirapuera, São Paulo, 2006.

VASCONCELOS F. B. **Introdução à Malharia**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2009.

VASCONCELOS, F. B., **Parâmetros para o desenvolvimento de artigos esportivos**, Congresso de Moda Esportiva, Rhodia, São Paulo, 2005.

VASCONCELOS, F. B., **Fibras Têxteis II - Poliéster**, Centro Universitário da FEI, São Bernardo do Campo, 2013.

VASCONCELOS, F. B.; MARCICANO, J. P. P. ; SANCHES, R. A., **Influence of yarn tension variations before the positive feed on the characteristics of knitted fabrics**, Textile Research Journal, 2015.

VASCONCELOS, F. B.; CASACA, F. ; VASCONCELOS, F. G. ; MARCICANO, J. P. P. ; SANCHES, R. A., **Design of elastic garments for sports in circular knitting**, International Journal of textile and fashion technology (IJTFT), v. 3, p. 39-48, 2013.

VASCONCELOS, F. G. ; VASCONCELOS, F. B., **Transporte de umidade em camisetas esportivas após lavagens**. Textilia - Têxteis Interamericanos, v. XXIV, p. 41-45, 2014.

VASCONCELOS, F. G.; VASCONCELOS, F. B.; WATANABE, T., **Estudo das propriedades de transporte de umidade em camisetas esportivas de poliéster antes e após lavagens**, 1º CONTEXMOD, 2013.

VASCONCELOS, F. G.; SANCHES, R. A.; VASCONCELOS, F. B., **Conforto e Funcionalidade dos Têxteis nos Artigos Esportivos**, 3rd International Fashion and Design Congress – CIMODE, Buenos Aires, 2016.

WARDININGSIH W.; TROYNIKOV O.; **Influence of cover factor on liquid moisture transport performance of bamboo knitted fabrics**, *The Journal of The Textile Institute*, Vol. 103, No. 1, 89 – 98, 2012.

WASHINO, Y. **Functional fibers**. Trends in the technology and product development in Japan. Japan: Toray Research Center, 1993.

WILBIK-HAŁGAS, B.; DANYCH, R.; WIĘCEK, B.; KOWALSKI, K., **Air and Water Vapour Permeability in Double-Layered Knitted Fabrics with Different Raw Materials**, *Fibers and Textiles in Eastern Europe*, Vol 14, No. 3 (57), 2006.

WOODINGS, C. **Regenerated Celulosic Fibres**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2001.

YAO, B.; LI, Y.; KWOK, Y., **Precision of New Test Method for Characterizing Dynamic Liquid Moisture Transfer in Textile Fabrics**, AATCC review, 2008.

YAO, B.; LI, Y.; HU, J.; KWOK, Y.; YEUNG, K.; **An improved test method for characterizing the dynamic liquid moisture transfer in porous polymeric materials**, Institute of Textiles and Clothing, The Hong Kong Polytechnic University, Hung Hom, Kowloon, Hong Kong, 2006.

ZHOU, L. Y.; FENG, X. W.; TOKURA, H.; NEWTON, E.; KWOK, Y. L., **Effect of Fabric Liquid Water Transfer Behavior on Human Thermophysiological Responses and Clothing Microclimate during Exercise and Recovery**, *Journal of Textile Engineering*, Vol.53. No.3. 87 – 93, 2007.

APÊNDICE A - Resultados individuais de caracterização – Densidade Linear

Amostra 1	
C.P.	g/m ²
1	140,14
2	142,58
3	142,52
4	140,02
5	142,47
Média	141,546
Desv. Pad.	1,339507

Amostra 2	
C.P.	g/m ²
1	172,55
2	162,15
3	157,66
4	166,52
5	155,54
Média	162,884
Desv. Pad.	6,863223

Amostra 3	
C.P.	g/m ²
1	160,64
2	160,06
3	155,36
4	156,42
5	155
Média	157,496
Desv. Pad.	2,66501

Amostra 4	
C.P.	g/m ²
1	237,3
2	238,24
3	235,31
4	240,43
5	244,63
Média	239,182
Desv. Pad.	3,558788

Amostra 5	
C.P.	g/m ²
1	228,13
2	222,93
3	222,75
4	224,96
5	229,54
Média	225,662
Desv. Pad.	3,064567

Amostra 6	
C.P.	g/m ²
1	251,70
2	246,61
3	256,28
4	255,83
5	258,00
Média	253,684
Desv. Pad.	4,581215

Amostra 7	
C.P.	g/m ²
1	234,55
2	237,67
3	238,2
4	234,36
5	233,19
Média	235,594
Desv. Pad.	2,207539

Amostra 8	
C.P.	g/m ²
1	240,78
2	247,63
3	240,72
4	240,11
5	240,74
Média	241,996
Desv. Pad.	3,161618

Amostra 9	
C.P.	g/m ²
1	216,33
2	216,38
3	215,32
4	212,44
5	214,98
Média	215,09
Desv. Pad.	1,603839

Amostra 10	
C.P.	g/m ²
1	148,24
2	146,88
3	150,28
4	149,11
5	149,44
Média	148,79
Desv. Pad.	1,293793

Amostra 11	
C.P.	g/m ²
1	246,27
2	246,34
3	246,32
4	242,37
5	231,76
Média	242,612
Desv. Pad.	6,301839

Amostra 12	
C.P.	g/m ²
1	159,73
2	155,61
3	155,57
4	155,62
5	158,5
Média	157,006
Desv. Pad.	1,973836

Amostra 13	
C.P.	g/m ²
1	237,06
2	233,51
3	237,02
4	238,36
5	243,14
Média	237,818
Desv. Pad.	3,478063

Amostra 14	
C.P.	g/m ²
1	161,05
2	160,07
3	160,95
4	159,53
5	161,14
Média	160,548
Desv. Pad.	0,712194

Amostra 15	
C.P.	g/m ²
1	149,3
2	150,76
3	150,03
4	149,21
5	150,59
Média	149,978
Desv. Pad.	0,713842

Amostra 16	
C.P.	g/m ²
1	171,78
2	158,51
3	157,49
4	162,22
5	158,78
Média	161,756
Desv. Pad.	5,87979

Amostra 17	
C.P.	g/m ²
1	141,35
2	139,43
3	138,6
4	142,9
5	134,91
Média	139,438
Desv. Pad.	3,035057

Amostra 18	
C.P.	g/m ²
1	137,4
2	137,33
3	140,5
4	139,3
5	140,87
Média	139,08
Desv. Pad.	1,669865

Amostra 19	
C.P.	g/m ²
1	148,99
2	150,57
3	149,28
4	150,43
5	149,51
Média	149,756
Desv. Pad.	0,705464

Amostra 20	
C.P.	g/m ²
1	157
2	159,57
3	162,96
4	161,89
5	160,25
Média	160,334
Desv. Pad.	2,29256

Amostra 21	
C.P.	g/m ²
1	240,31
2	238,8
3	247,29
4	238,24
5	239,3
Média	240,788
Desv. Pad.	3,713593

Amostra 22	
C.P.	g/m ²
1	245,93
2	245,62
3	246,02
4	245,9
5	246,89
Média	246,072
Desv. Pad.	0,481113

Amostra 23	
C.P.	g/m ²
1	242,91
2	236,71
3	237,62
4	230,92
5	240,08
Média	237,648
Desv. Pad.	4,465139

Amostra 24	
C.P.	g/m ²
1	218,87
2	216,69
3	224,54
4	217
5	221,4
Média	219,7
Desv. Pad.	3,292211

Amostra 25	
C.P.	g/m ²
1	255,35
2	255,17
3	253,03
4	249,02
5	249,70
Média	252,45
Desv. Pad.	2,977924

Amostra 26	
C.P.	g/m ²
1	167,31
2	161,07
3	163,15
4	162,73
5	161,87
Média	163,226
Desv. Pad.	2,419603

Amostra 27	
C.P.	g/m ²
1	148,39
2	150,29
3	147,66
4	150,66
5	149,67
Média	149,334
Desv. Pad.	1,272647

Amostra 28	
C.P.	g/m ²
1	256,63
2	253,94
3	257,65
4	260,06
5	250,46
Média	255,748
Desv. Pad.	3,681735

Amostra 29	
C.P.	g/m ²
1	162,64
2	164,53
3	161,5
4	161,65
5	161,49
Média	162,362
Desv. Pad.	1,302678

Amostra 30	
C.P.	g/m ²
1	241,54
2	241,61
3	240,83
4	244,66
5	244,72
Média	242,672
Desv. Pad.	1,867397

Amostra 31	
C.P.	g/m ²
1	176,6
2	176,73
3	172,32
4	175,99
5	179,33
Média	176,194
Desv. Pad.	2,51675

Amostra 32	
C.P.	g/m ²
1	213,24
2	213,76
3	218,99
4	213,2
5	214,55
Média	214,748
Desv. Pad.	2,433119

APÊNDICE B – Resultados individuais de caracterização – Espessura

Amostra 1	
C.P.	mm
1	0,55
2	0,59
3	0,55
4	0,53
5	0,52
Média	0,548
Desv. Pad.	0,026833

Amostra 2	
C.P.	mm
1	0,72
2	0,7
3	0,73
4	0,74
5	0,72
Média	0,722
Desv. Pad.	0,014832

Amostra 3	
C.P.	mm
1	0,56
2	0,56
3	0,55
4	0,59
5	0,61
Média	0,574
Desv. Pad.	0,0251

Amostra 4	
C.P.	mm
1	1,14
2	1,14
3	1,14
4	1,11
5	1,16
Média	1,138
Desv. Pad.	0,017889

Amostra 5	
C.P.	mm
1	1,08
2	1,04
3	1,04
4	1
5	1,03
Média	1,038
Desv. Pad.	0,028636

Amostra 6	
C.P.	mm
1	1,08
2	1,05
3	1,09
4	1,1
5	1,09
Média	1,082
Desv. Pad.	0,019235

Amostra 7	
C.P.	mm
1	0,99
2	0,98
3	1,01
4	0,99
5	0,95
Média	0,984
Desv. Pad.	0,021909

Amostra 8	
C.P.	mm
1	1,16
2	1,2
3	1,18
4	1,22
5	1,21
Média	1,194
Desv. Pad.	0,024083

Amostra 9	
C.P.	mm
1	1,91
2	1,9
3	1,95
4	1,88
5	1,9
Média	1,908
Desv. Pad.	0,025884

Amostra 10	
C.P.	mm
1	0,64
2	0,69
3	0,7
4	0,64
5	0,66
Média	0,666
Desv. Pad.	0,027928

Amostra 11	
C.P.	mm
1	1,88
2	1,86
3	1,87
4	1,88
5	1,88
Média	1,874
Desv. Pad.	0,008944

Amostra 12	
C.P.	mm
1	0,59
2	0,58
3	0,56
4	0,6
5	0,56
Média	0,578
Desv. Pad.	0,017889

Amostra 13	
C.P.	mm
1	1,92
2	1,91
3	1,88
4	1,9
5	1,86
Média	1,894
Desv. Pad.	0,024083

Amostra 14	
C.P.	mm
1	0,59
2	0,57
3	0,58
4	0,59
5	0,58
Média	0,582
Desv. Pad.	0,008367

Amostra 15	
C.P.	mm
1	0,49
2	0,47
3	0,51
4	0,49
5	0,5
Média	0,492
Desv. Pad.	0,014832

Amostra 16	
C.P.	mm
1	0,7
2	0,74
3	0,71
4	0,74
5	0,73
Média	0,724
Desv. Pad.	0,018166

Amostra 17	
C.P.	mm
1	0,6
2	0,57
3	0,58
4	0,65
5	0,66
Média	0,612
Desv. Pad.	0,040866

Amostra 18	
C.P.	mm
1	0,58
2	0,57
3	0,56
4	0,57
5	0,58
Média	0,572
Desv. Pad.	0,008367

Amostra 19	
C.P.	mm
1	0,5
2	0,51
3	0,49
4	0,47
5	0,49
Média	0,492
Desv. Pad.	0,014832

Amostra 20	
C.P.	mm
1	0,61
2	0,56
3	0,69
4	0,63
5	0,65
Média	0,628
Desv. Pad.	0,048166

Amostra 21	
C.P.	mm
1	0,99
2	0,97
3	1,06
4	0,98
5	0,97
Média	0,994
Desv. Pad.	0,037815

Amostra 22	
C.P.	mm
1	1,05
2	1,05
3	1,1
4	1,09
5	1,05
Média	1,068
Desv. Pad.	0,0249

Amostra 23	
C.P.	mm
1	1,17
2	1,17
3	1,22
4	1,21
5	1,21
Média	1,196
Desv. Pad.	0,024083

Amostra 24	
C.P.	mm
1	1,01
2	1
3	1,03
4	1
5	1
Média	1,008
Desv. Pad.	0,013038

Amostra 25	
C.P.	mm
1	1,08
2	1,07
3	1,08
4	1,12
5	1,1
Média	1,09
Desv. Pad.	0,02

Amostra 26	
C.P.	mm
1	0,54
2	0,55
3	0,54
4	0,56
5	0,55
Média	0,548
Desv. Pad.	0,008367

Amostra 27	
C.P.	mm
1	0,68
2	0,68
3	0,69
4	0,67
5	0,65
Média	0,674
Desv. Pad.	0,015166

Amostra 28	
C.P.	mm
1	1,12
2	1,15
3	1,12
4	1,13
5	1,15
Média	1,134
Desv. Pad.	0,015166

Amostra 29	
C.P.	mm
1	0,58
2	0,58
3	0,57
4	0,57
5	0,56
Média	0,572
Desv. Pad.	0,008367

Amostra 30	
C.P.	mm
1	1,11
2	1,14
3	1,13
4	1,14
5	1,12
Média	1,128
Desv. Pad.	0,013038

Amostra 31	
C.P.	mm
1	0,62
2	0,61
3	0,64
4	0,61
5	0,62
Média	0,62
Desv. Pad.	0,012247

Amostra 32	
C.P.	mm
1	1,92
2	1,94
3	1,86
4	1,92
5	1,9
Média	1,908
Desv. Pad.	0,030332

APÊNDICE C – Resultados individuais de caracterização – Densidade

Amostra 1			
C.P.	col	car	
1	13	20	
2	13	20	
3	13	21	
4	13	20	
5	13	20	
Média	13	20,2	
Desv. Pad.	0	0,447214	

Amostra 2			
C.P.	col	car	
1	13	18	
2	13	19	
3	13	18	
4	14	18	
5	13	18	
Média	13,2	18,2	
Desv. Pad.	0,447214	0,447214	

Amostra 3			
C.P.	col	car	
1	13	23	
2	14	23	
3	13	22	
4	13	23	
5	13	23	
Média	13,2	22,8	
Desv. Pad.	0,447214	0,447214	

Amostra 4			
C.P.	col	car	
1	11	17	
2	12	16	
3	12	17	
4	11	17	
5	12	16	
Média	11,6	16,6	
Desv. Pad.	0,547723	0,547723	

Amostra 5			
C.P.	col	car	
1	12	14	
2	12	14	
3	12	14	
4	12	14	
5	12	14	
Média	12	14	
Desv. Pad.	0	0	

Amostra 6			
C.P.	col	car	
1	12	17	
2	12	17	
3	12	17	
4	12	18	
5	12	17	
Média	12	17,2	
Desv. Pad.	0	0,447214	

Amostra 7			
C.P.	col	car	
1	12	15	
2	12	15	
3	12	14	
4	12	15	
5	12	15	
Média	12	14,8	
Desv. Pad.	0	0,447214	

Amostra 8			
C.P.	col	car	
1	12	14	
2	12	14	
3	12	14	
4	12	14	
5	12	14	
Média	12	14	
Desv. Pad.	0	0	

Amostra 9			
C.P.	col	car	
1	12	15	
2	12	16	
3	12	16	
4	12	16	
5	12	15	
Média	12	15,6	
Desv. Pad.	0	0,547723	

Amostra 10			
C.P.	col	car	
1	13	21	
2	14	21	
3	14	21	
4	13	22	
5	14	21	
Média	13,6	21,2	
Desv. Pad.	0,547723	0,447214	

Amostra 11			
C.P.	col	car	
1	12	19	
2	12	18	
3	12	18	
4	12	18	
5	12	19	
Média	12	18,4	
Desv. Pad.	0	0,547723	

Amostra 12			
C.P.	col	car	
1	13	22	
2	13	23	
3	13	23	
4	13	23	
5	13	23	
Média	13	22,8	
Desv. Pad.	0	0,447214	

Amostra 13			
C.P.	col	car	
1	12	19	
2	11	19	
3	12	18	
4	12	18	
5	12	18	
Média	11,8	18,4	
Desv. Pad.	0,447214	0,547723	

Amostra 14			
C.P.	col	car	
1	15	23	
2	14	24	
3	15	24	
4	14	24	
5	14	24	
Média	14,4	23,8	
Desv. Pad.	0,547723	0,447214	

Amostra 15			
C.P.	col	car	
1	14	22	
2	14	21	
3	15	22	
4	15	21	
5	14	21	
Média	14,4	21,4	
Desv. Pad.	0,547723	0,547723	

Amostra 16			
C.P.	col	car	
1	14	17	
2	14	17	
3	14	17	
4	14	18	
5	14	17	
Média	14	17,2	
Desv. Pad.	0	0,447214	

Amostra 17			
C.P.	col	car	
1	14	18	
2	14	18	
3	14	19	
4	15	18	
5	14	18	
Média	14,2	18,2	
Desv. Pad.	0,447214	0,447214	

Amostra 18			
C.P.	col	car	
1	14	21	
2	14	20	
3	14	21	
4	13	21	
5	14	20	
Média	13,8	20,6	
Desv. Pad.	0,447214	0,547723	

Amostra 19			
C.P.	col	car	
1	14	22	
2	14	21	
3	15	21	
4	15	21	
5	15	21	
Média	14,6	21,2	
Desv. Pad.	0,547723	0,447214	

Amostra 20			
C.P.	col	car	
1	14	19	
2	15	18	
3	14	18	
4	14	18	
5	14	19	
Média	14,2	18,4	
Desv. Pad.	0,447214	0,547723	

Amostra 21			
C.P.	col	car	
1	13	16	
2	12	16	
3	12	15	
4	12	16	
5	12	16	
Média	12,2	15,8	
Desv. Pad.	0,447214	0,447214	

Amostra 22			
C.P.	col	car	
1	12	15	
2	13	15	
3	13	15	
4	13	14	
5	13	15	
Média	12,8	14,8	
Desv. Pad.	0,447214	0,447214	

Amostra 23			
C.P.	col	car	
1	12	14	
2	12	14	
3	12	14	
4	12	14	
5	12	14	
Média	12	14	
Desv. Pad.	0	0	

Amostra 24			
C.P.	col	car	
1	12	13	
2	12	13	
3	12	13	
4	12	13	
5	12	13	
Média	12	13	
Desv. Pad.	0	0	

Amostra 25		
C.P.	col	car
1	12	17
2	12	17
3	12	17
4	12	17
5	12	17
Média	12	17
Desv. Pad.	0	0

Amostra 26		
C.P.	col	car
1	16	21
2	16	22
3	16	22
4	16	22
5	16	22
Média	16	21,8
Desv. Pad.	0	0,447214

Amostra 27		
C.P.	col	car
1	13	22
2	14	21
3	13	21
4	13	21
5	14	21
Média	13,4	21,2
Desv. Pad.	0,547723	0,447214

Amostra 28		
C.P.	col	car
1	13	15
2	13	14
3	13	15
4	13	15
5	13	15
Média	13	14,8
Desv. Pad.	0	0,447214

Amostra 29		
C.P.	col	car
1	15	23
2	15	23
3	15	23
4	15	24
5	15	24
Média	15	23,4
Desv. Pad.	0	0,547723

Amostra 30		
C.P.	col	car
1	12	16
2	12	15
3	12	16
4	12	16
5	12	16
Média	12	15,8
Desv. Pad.	0	0,447214

Amostra 31		
C.P.	col	car
1	16	23
2	15	22
3	16	22
4	16	22
5	16	22
Média	15,8	22,2
Desv. Pad.	0,447214	0,447214

Amostra 32		
C.P.	col	car
1	11	16
2	11	16
3	12	16
4	11	16
5	11	16
Média	11,2	16
Desv. Pad.	0,447214	0

APÊNDICE D – Resultados individuais de Ensaio – MMT (OMMC)

Amostra 1	
C.P.	OMMC
1	0,4245
2	0,3964
3	0,5015
4	0,5672
5	0,4655
Média	0,47102
Desv. Pad.	0,06697453

Amostra 2	
C.P.	OMMC
1	0,3868
2	0,4893
3	0,6843
4	0,7199
5	0,5573
Média	0,56752
Desv. Pad.	0,13760429

Amostra 3	
C.P.	OMMC
1	0,3401
2	0,3652
3	0,7032
4	0,307
5	0,3372
Média	0,41054
Desv. Pad.	0,16489896

Amostra 4	
C.P.	OMMC
1	0,6058
2	0,6151
3	0,5723
4	0,6045
5	0,6214
Média	0,60382
Desv. Pad.	0,01893534

Amostra 5	
C.P.	OMMC
1	0,421
2	0,4576
3	0,3206
4	0,2065
5	0,4898
Média	0,3791
Desv. Pad.	0,11552636

Amostra 6	
C.P.	OMMC
1	0,6497
2	0,6388
3	0,6322
4	0,5971
5	0,64
Média	0,63156
Desv. Pad.	0,02025223

Amostra 7	
C.P.	OMMC
1	0,2502
2	0,2403
3	0,3968
4	0,4275
5	0,2619
Média	0,31534
Desv. Pad.	0,08936673

Amostra 8	
C.P.	OMMC
1	0,6247
2	0,1017
3	0,2484
4	0,4604
5	0,6258
Média	0,4122
Desv. Pad.	0,23256458

Amostra 9	
C.P.	OMMC
1	0,2733
2	0,2737
3	0,3486
4	0,3046
5	0,2562
Média	0,29128
Desv. Pad.	0,03648955

Amostra 10	
C.P.	OMMC
1	0,5086
2	0,5872
3	0,6124
4	0,5605
5	0,4879
Média	0,55132
Desv. Pad.	0,05231995

Amostra 11	
C.P.	OMMC
1	0,4393
2	0,4037
3	0,1814
4	0,2327
5	0,312
Média	0,31382
Desv. Pad.	0,10947884

Amostra 12	
C.P.	OMMC
1	0,4227
2	0,4858
3	0,351
4	0,4509
5	0,4194
Média	0,42596
Desv. Pad.	0,04968776

Amostra 13	
C.P.	OMMC
1	0,3543
2	0,3006
3	0,2409
4	0,1404
5	0,2744
Média	0,26212
Desv. Pad.	0,07967859

Amostra 14	
C.P.	OMMC
1	0,6432
2	0,5872
3	0,6124
4	0,491
5	0,6119
Média	0,58914
Desv. Pad.	0,05834542

Amostra 15	
C.P.	OMMC
1	0,4544
2	0,6096
3	0,4373
4	0,5871
5	0,4593
Média	0,50954
Desv. Pad.	0,08186979

Amostra 16	
C.P.	OMMC
1	0,4715
2	0,6758
3	0,4993
4	0,6353
5	0,636
Média	0,58358
Desv. Pad.	0,09164113

Amostra 17	
C.P.	OMMC
1	0,7091
2	0,7615
3	0,5075
4	0,4613
5	0,3762
Média	0,56312
Desv. Pad.	0,16512478

Amostra 18	
C.P.	OMMC
1	0,471
2	0,4544
3	0,6096
4	0,6883
5	0,463
Média	0,53726
Desv. Pad.	0,10584998

Amostra 19	
C.P.	OMMC
1	0,5591
2	0,6261
3	0,5083
4	0,6883
5	0,463
Média	0,56896
Desv. Pad.	0,09015458

Amostra 20	
C.P.	OMMC
1	0,4111
2	0,4058
3	0,5743
4	0,6517
5	0,459
Média	0,50038
Desv. Pad.	0,10838647

Amostra 21	
C.P.	OMMC
1	0,4068
2	0,254
3	0,3285
4	0,2753
5	0,4092
Média	0,33476
Desv. Pad.	0,07215943

Amostra 22	
C.P.	OMMC
1	0,2116
2	0,1979
3	0,1017
4	0,175
5	0,1557
Média	0,16838
Desv. Pad.	0,04298322

Amostra 23	
C.P.	OMMC
1	0
2	0,5216
3	0,5102
4	0
5	0,5469
Média	0,31574
Desv. Pad.	0,28853573

Amostra 24	
C.P.	OMMC
1	0,3524
2	0,3801
3	0,3928
4	0,3872
5	0,3904
Média	0,38058
Desv. Pad.	0,01646153

Amostra 25	
C.P.	OMMC
1	0,6577
2	0,6049
3	0,6112
4	0,6988
5	0,6328
Média	0,64108
Desv. Pad.	0,03833467

Amostra 26	
C.P.	OMMC
1	0,3577
2	0,5183
3	0,375
4	0,7294
5	0,5321
Média	0,5025
Desv. Pad.	0,14986052

Amostra 27	
C.P.	OMMC
1	0,5086
2	0,3881
3	0,5457
4	0,4577
5	0,6433
Média	0,50868
Desv. Pad.	0,09569682

Amostra 28	
C.P.	OMMC
1	0
2	0,1353
3	0,6244
4	0,2323
5	0,25
Média	0,2484
Desv. Pad.	0,23244996

Amostra 29	
C.P.	OMMC
1	0,6091
2	0,4664
3	0,5986
4	0,5605
5	0,4879
Média	0,5445
Desv. Pad.	0,06453515

Amostra 30	
C.P.	OMMC
1	0,6742
2	0,6387
3	0,6214
4	0,7083
5	0,582
Média	0,64492
Desv. Pad.	0,0485416

Amostra 31	
C.P.	OMMC
1	0,3169
2	0,361
3	0,4532
4	0,4346
5	0,3779
Média	0,38872
Desv. Pad.	0,05546672

Amostra 32	
C.P.	OMMC
1	0,3262
2	0,63
3	0,6318
4	0,3629
5	0,268
Média	0,44378
Desv. Pad.	0,17413691

APÊNDICE E – Resultados individuais de Ensaio – Hidrofilidade por Capilaridade

Amostra 1		
C.P.	Col.	Car.
1	7,4	9,0
2	7,9	8,1
3	7,8	8,0
4	8,1	7,0
5	7,7	7,5
Média	7,78	7,92
Desv. Pad.	0,25884	0,7463

Amostra 2		
C.P.	Col.	Car.
1	9	6,5
2	8,7	6,9
3	8,2	6
4	8,3	6,5
5	8,1	6
Média	8,46	6,38
Desv. Pad.	0,37815	0,38341

Amostra 3		
C.P.	Col.	Car.
1	11	9,6
2	12,2	9,5
3	12,1	9,2
4	12	8,9
5	12,5	9
Média	11,96	9,24
Desv. Pad.	0,56833	0,3050

Amostra 4		
C.P.	Col.	Car.
1	3	2,8
2	3,5	2,7
3	3,5	2,9
4	3,7	2,6
5	3	2,5
Média	3,34	2,7
Desv. Pad.	0,32094	0,15811

Amostra 5		
C.P.	Col.	Car.
1	10	11,4
2	9,9	11,6
3	11	12
4	10,5	11,8
5	10,8	11,5
Média	10,44	11,66
Desv. Pad.	0,4827	0,2408

Amostra 6		
C.P.	Col.	Car.
1	4	4
2	3,6	3,9
3	2,8	3,1
4	3,7	3
5	3,8	3,8
Média	3,58	3,56
Desv. Pad.	0,46043	0,47223

Amostra 7		
C.P.	Col.	Car.
1	12	10,5
2	10	11
3	11,2	12
4	12	12
5	11,7	11
Média	11,38	11,3
Desv. Pad.	0,83785	0,6708

Amostra 8		
C.P.	Col.	Car.
1	4,7	4,9
2	4,2	5
3	5	5
4	4,9	5,9
5	5,8	6
Média	4,92	5,36
Desv. Pad.	0,58052	0,54129

Amostra 9		
C.P.	Col.	Car.
1	10	11
2	9,3	9,8
3	10	10,1
4	11	10
5	10	10,9
Média	10,06	10,36
Desv. Pad.	0,60663	0,5505

Amostra 10		
C.P.	Col.	Car.
1	5,7	4,6
2	6,5	4,7
3	6,5	4,5
4	6,4	4
5	7	4,2
Média	6,42	4,4
Desv. Pad.	0,46583	0,29155

Amostra 11		
C.P.	Col.	Car.
1	8,2	9
2	7,5	9,1
3	7,8	9,7
4	8,1	9,3
5	7,5	10
Média	7,82	9,42
Desv. Pad.	0,32711	0,420714

Amostra 12		
C.P.	Col.	Car.
1	11	9,5
2	11,5	9,4
3	11,3	9,2
4	11,9	9,5
5	12	9,4
Média	11,54	9,4
Desv. Pad.	0,41593	0,12247

Amostra 13		
C.P.	Col.	Car.
1	8,4	8,8
2	9	9,1
3	9,5	9,5
4	8,6	9,1
5	8,5	10,2
Média	8,8	9,34
Desv. Pad.	0,4528	0,5413

Amostra 14		
C.P.	Col.	Car.
1	7,5	5,9
2	7,4	6
3	7,5	6
4	7,2	5,9
5	7,4	5,6
Média	7,4	5,88
Desv. Pad.	0,12247	0,16432

Amostra 15		
C.P.	Col.	Car.
1	4,5	8
2	4,6	7,6
3	5,7	8,8
4	5,9	7,5
5	5,8	8,2
Média	5,3	8,02
Desv. Pad.	0,6892	0,5215

Amostra 16		
C.P.	Col.	Car.
1	7,5	8
2	7	7,1
3	8	5,9
4	7,7	7
5	9	6
Média	7,84	6,8
Desv. Pad.	0,74364	0,86891

Amostra 17		
C.P.	Col.	Car.
1	14	13
2	15,5	13,6
3	14,5	13,9
4	14,8	14,6
5	14	14,2
Média	14,56	13,86
Desv. Pad.	0,6269	0,6066

Amostra 18		
C.P.	Col.	Car.
1	8	8,9
2	8,2	8,6
3	8,7	9,4
4	8	8,6
5	8	8,5
Média	8,18	8,8
Desv. Pad.	0,30332	0,36742

Amostra 19		
C.P.	Col.	Car.
1	7,5	7,2
2	7,4	7,7
3	7,5	7,5
4	7,2	8,7
5	7,4	8,2
Média	7,4	7,86
Desv. Pad.	0,12247	0,594138

Amostra 20		
C.P.	Col.	Car.
1	14	13,5
2	14,7	14
3	14,5	13,7
4	15	13,9
5	14,5	13,5
Média	14,54	13,72
Desv. Pad.	0,36469	0,22804

Amostra 21		
C.P.	Col.	Car.
1	15	12,9
2	13,7	13
3	14,9	13,1
4	14,5	13,5
5	15,2	14
Média	14,66	13,3
Desv. Pad.	0,5941	0,4528

Amostra 22		
C.P.	Col.	Car.
1	7,5	6,5
2	8,4	7,2
3	9	7,5
4	7,8	7,6
5	8,5	6,2
Média	8,24	7
Desv. Pad.	0,59414	0,62048

Amostra 23		
C.P.	Col.	Car.
1	5	4,9
2	4,6	6
3	4,6	5,9
4	4,3	5,5
5	4,2	6,1
Média	4,54	5,68
Desv. Pad.	0,31305	0,4919

Amostra 24		
C.P.	Col.	Car.
1	11,8	12,4
2	12	13,2
3	12,2	13,9
4	11,6	12,4
5	12	13,2
Média	11,92	13,02
Desv. Pad.	0,22804	0,63403

Amostra 25		
C.P.	Col.	Car.
1	2,9	2,4
2	3,7	2,5
3	3,3	2,3
4	3,5	2,6
5	3,5	2,3
Média	3,38	2,42
Desv. Pad.	0,30332	0,1304

Amostra 26		
C.P.	Col.	Car.
1	13,9	12,4
2	14,5	12,9
3	14,9	12
4	15,1	13
5	14,2	12,9
Média	14,52	12,64
Desv. Pad.	0,49193	0,42778

Amostra 27		
C.P.	Col.	Car.
1	7	5,4
2	6	5,2
3	6,5	5
4	7	4,8
5	6,8	5,1
Média	6,66	5,1
Desv. Pad.	0,4219	0,223607

Amostra 28		
C.P.	Col.	Car.
1	7,2	6,8
2	7,9	5,7
3	7,9	6
4	7,5	6,2
5	8	6
Média	7,7	6,14
Desv. Pad.	0,33912	0,40988

Amostra 29		
C.P.	Col.	Car.
1	8,2	5,3
2	9,1	5,6
3	8,2	6,1
4	9,3	5,1
5	8,9	6,7
Média	8,74	5,76
Desv. Pad.	0,5128	0,6465

Amostra 30		
C.P.	Col.	Car.
1	3	3,2
2	3,1	3
3	2,9	2,7
4	2,7	3,3
5	3,1	2,9
Média	2,96	3,02
Desv. Pad.	0,16733	0,23875

Amostra 31		
C.P.	Col.	Car.
1	13,9	12,3
2	14,1	12,9
3	13,8	12,5
4	14,5	13,1
5	14,7	13
Média	14,2	12,76
Desv. Pad.	0,3873	0,3435

Amostra 32		
C.P.	Col.	Car.
1	8,1	8,8
2	6,8	9,2
3	7	9,7
4	7,7	8,7
5	7	8
Média	7,32	8,88
Desv. Pad.	0,55408	0,63008

APÊNDICE E – Resultados individuais de Ensaio – Hidrofilidade por Absorção (Drop Test)

Amostra 1	
C.P.	Tempo
1	1,5
2	1,71
3	1,51
Média	1,573333
Desv. Pad.	0,118462

Amostra 2	
C.P.	Tempo
1	181,27
2	179,16
3	187,71
Média	182,7133
Desv. Pad.	4,453991

Amostra 3	
C.P.	Tempo
1	237,46
2	257,65
3	188,71
Média	227,94
Desv. Pad.	35,44226

Amostra 4	
C.P.	Tempo
1	8,98
2	10,56
3	10,15
Média	9,896667
Desv. Pad.	0,819898

Amostra 5	
C.P.	Tempo
1	297,65
2	321,76
3	316,74
Média	312,05
Desv. Pad.	12,72085

Amostra 6	
C.P.	Tempo
1	16,28
2	14,21
3	12,44
Média	14,31
Desv. Pad.	1,921952

Amostra 7	
C.P.	Tempo
1	258,08
2	318,4
3	268,17
Média	281,55
Desv. Pad.	32,30935

Amostra 8	
C.P.	Tempo
1	602,1
2	607,73
3	599,87
Média	603,2333
Desv. Pad.	4,050708

Amostra 9	
C.P.	Tempo
1	4,27
2	4,7
3	3,83
Média	4,266667
Desv. Pad.	0,43501

Amostra 10	
C.P.	Tempo
1	2,41
2	2,51
3	2,3
Média	2,406667
Desv. Pad.	0,10504

Amostra 11	
C.P.	Tempo
1	4,75
2	5,13
3	5,5
Média	5,126667
Desv. Pad.	0,375011

Amostra 12	
C.P.	Tempo
1	244,33
2	189,23
3	206,91
Média	213,49
Desv. Pad.	28,13316

Amostra 13	
C.P.	Tempo
1	4,03
2	4,33
3	5,05
Média	4,47
Desv. Pad.	0,524214

Amostra 14	
C.P.	Tempo
1	2,35
2	2,71
3	2,91
Média	2,656667
Desv. Pad.	0,283784

Amostra 15	
C.P.	Tempo
1	2,01
2	2,03
3	2,18
Média	2,073333
Desv. Pad.	0,092916

Amostra 16	
C.P.	Tempo
1	173,94
2	182,13
3	181,73
Média	179,2667
Desv. Pad.	4,617362

Amostra 17	
C.P.	Tempo
1	87,78
2	55,91
3	97,12
Média	80,27
Desv. Pad.	21,60708

Amostra 18	
C.P.	Tempo
1	1,1
2	1,05
3	1,11
Média	1,086667
Desv. Pad.	0,032146

Amostra 19	
C.P.	Tempo
1	2,25
2	2,05
3	1,98
Média	2,093333
Desv. Pad.	0,140119

Amostra 20	
C.P.	Tempo
1	75,91
2	92,32
3	62,55
Média	76,92667
Desv. Pad.	14,91102

Amostra 21	
C.P.	Tempo
1	266,98
2	307,89
3	324,16
Média	299,6767
Desv. Pad.	29,46154

Amostra 22	
C.P.	Tempo
1	645,11
2	673,01
3	666,12
Média	661,4133
Desv. Pad.	14,53331

Amostra 23	
C.P.	Tempo
1	586,12
2	612,33
3	601,74
Média	600,0633
Desv. Pad.	13,1852

Amostra 24	
C.P.	Tempo
1	278,86
2	292,65
3	312,75
Média	294,7533
Desv. Pad.	17,04262

Amostra 25	
C.P.	Tempo
1	11,4
2	12,86
3	10,55
Média	11,60333
Desv. Pad.	1,168346

Amostra 26	
C.P.	Tempo
1	65,46
2	95,71
3	116,25
Média	92,47333
Desv. Pad.	25,54923

Amostra 27	
C.P.	Tempo
1	2,5
2	2,27
3	2,85
Média	2,54
Desv. Pad.	0,292062

Amostra 28	
C.P.	Tempo
1	639,41
2	657,32
3	633,2
Média	643,31
Desv. Pad.	12,52402

Amostra 29	
C.P.	Tempo
1	2,73
2	3,18
3	2,56
Média	2,823333
Desv. Pad.	0,320364

Amostra 30	
C.P.	Tempo
1	9,08
2	9,9
3	10,01
Média	9,663333
Desv. Pad.	0,508167

Amostra 31	
C.P.	Tempo
1	95,58
2	101,97
3	70,27
Média	82,925
Desv. Pad.	17,89687

Amostra 32	
C.P.	Tempo
1	4,21
2	3,8
3	4,3
Média	4,103333
Desv. Pad.	0,266521